

168202

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

SERKAN GÖL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2005

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DERİN ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

SERKAN GÖL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 05.1.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Reşat Özcan

Prof.Dr.Ferruh Öztürk

Doç.Dr.Recep Eren

ÖZET

Bu çalışmada sanayide en sık kullanılan metal şekillendirme yöntemlerinden biri olan derin çekme ve buna etki eden parametreler incelenerek, bir implicit sonlu elemanlar yazılımı olan AutoForm ile bir otomobil parçasının analizi yapılmış ve elde edilen analiz sonuçlarına göre kalıp ve proses parametreleri üzerinde değişiklikler yapılarak, en uygun kalıp tasarlanmıştır.

Özellikle baskı plakası, süzdürme kanalları, açınım ve çekme radyüslerinin optimizasyonu yapılmıştır. Buradan elde edilen verilere göre parçanın bir çekme operasyonu ile oluşturulup oluşturulamayacağı tespit edildikten sonra presde yapılan alıştırmaya ve deneme çalışmalarıyla parça toleranslar dahilinde basılmıştır.

Anahtar Kelimeler : derin çekme, süzdürme kanalları, açınım, baskı plakası çekme radyüsü

ABSTRACT**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF PARAMETERS AFFECTING OF DEEP DRAWING PROCESS**

In this study, For an automobile product, deep drawing method which is one of the most commonly used metal forming processes, and the parameters affecting it are investigated using Auto Form which is an implicit finite method software. According to the analysis results, tool and process parameters are modified, and the optimum sheet metal die is designed.

Especially cushion rings, draw beads, blanking, and draw radius parameters are optimized. According to the analysis results obtained, it is investigated whether the product could be formed by one deep drawing operation or not. After it is obtained, then together with the spotting and try-outs at the stamping process, the product is manufactured within the tolerances.

Key Words : deep drawing, draw beads, blanking, cushion rings, draw radius

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
SİMGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
2.KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	5
3.DERİN ÇEKME	
3.1 Giriş	6
3.2 Prosesle Bağlı Parametrelerin Şekillendirmeye Etkisi	13
3.3 Malzemeye Bağlı Parametrelerin Şekillendirmeye Etkisi	19
3.4 Derin Çekme ve Germe Çekme	21
4.MALZEME BİLGİSİ	22
4.1 Giriş	27
4.2 Şekillendirilebilir Saç Seçim Kriterleri	30
4.3 Malzemenin Kimyasal Bileşiminin Şekillendirmeye Etkisi	32
4.4 Çelikler	36
4.5 Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler	39
4.6 Çekme Deneyi	46

4.7 Deformasyon	50
4.8 Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Biçimlendirmeye Etkisi	55
4.9 Şekillendirme Sınır Diyagramları	66
5.KALIPÇILIK	78
5.1 Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	79
5.2 Kalıp Standartları	80
6.PRES TIPLERİ VE SEÇİM KRİTERLERİ	107
6.1. Hidrolik Presler	109
6.2. Mekanik Presler	112
6.3. Etki Şekline Göre Presler	112
6.4. Tahrik Mekanizmaları	114
6.5. Hareket Mekanizmaları	114
6.6. Mekanik ve Hidrolik Preslerin Karşılaştırılması	115
6.7. Saç Parçaların Şekillendirilmesinde Pres Seçimi	116
7.DERİN ÇEKME İŞLEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ BENZETİMİ	118
7.1. Autoform Yazılımı Hakkında Bilgi	119
7.2. Silindirik Bir Kabın Deneysel Çözüm Sonuçları ile Doğrulanması	126
7.3. Bir Otomobil Parçasının AutoFormda Benzetimi	136
8.ARAŞTIRMA SONUÇLARI	152
9.KAYNAKLAR	148
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Tanım
s	: sac kalınlığı
r	: çekme radyüsü
m	: çekme oranı
F_r	: radyal kuvvet
F_t	: teğetsel kuvvet
T	: sıcaklık
T_y	: yeniden kristalleşme sıcaklığı
ϵ, e	: birim uzama
σ	: çekme gerilmesi
E	: elastisite modülü
n	: deformasyon sertleşmesi üssü
m'	: deformasyon hızına duyarlılık üsteli
ϵ_0	: birim şekil değişim hızı
C	: malzeme sabiti
R	: plastik anizotropi
ϵ_w	: genişlik yönündeki birim şekil değişimi
ϵ_t	: kalınlık yönündeki şekil değişimi
\bar{r}	: düşey anizotropi
F	: çekme kuvveti

k	: düzeltme faktörü
K_t	: teğetsel direngenlik matrisi
$F^{(0)}$: dış kuvvetlerin vektörü
I	: iç kuvvetlerin vektörü
Δu	: bir zaman adımındaki deplasmanların vektörü
l	: en küçük eleman uzunluğu
W_{max}	: doğal frekans
c	: dalga yayılma hızı
Δt	: kritik zaman adımı
ρ	: malzemenin yoğunluğu
E	: elastisite modülü
D	: açınım çapı
d	: çekme çapı
h	: çekme derinliği

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
ŞSD (FLD)	: Şekillendirme Sınır Diyagramı (Forming Limit Diyagramı)
CAD	: Computer Aided Design
TS	: Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Konu	Sayfa
Şekil 3.1	Baskı plakalı çekme kalıbı	7
Şekil 3.2	Silindirik çekmede sac hareketinin kesit görünüşü	7
Şekil 3.3	Silindirik çekmede malzemedeki yerel gerilmeler	8
Şekil 3.4	Çekmenin karakteristik üçgenlerle açıklanması	9
Şekil 3.5	Karakteristik üçgen detayı	10
Şekil 3.6	Taban çekme radyüsü ölçüleri	14
Şekil 3.7	Biçimlendirmede deformasyonun yağlamayla değişimi	17
Şekil 3.8	Düşük karbonlu çelikte düzlem deformasyon koşulundaki uzama değeri ile levha kalınlığı ilişkisi	% 20
Şekil 3.9	Baskı plakalı derin çekme	21
Şekil 3.10	Teleskopik zımba ile çoklu derin çekme	21
Şekil 3.11	Hidroforming kalıbı	22
Şekil 3.12	Gererek şekillendirme	22
Şekil 3.13	Dairesel baskı plakalı kabın derin çekmesinde gerilmeler	23
Şekil 3.14	Çift etkili pres	24
Şekil 3.15	Çift etkili çekme kalıbı	25
Şekil 3.16	Tek etkili çekme presi	26
Şekil 3.17	Tek etkili çekme kalıbı	26
Şekil 4.1	Saf demirin soğuma eğrisi	30

Şekil 4.2	Üç ayrı tavlama sıcaklığında, deformasyon sertleşmesi oranının tavlama süresine göre değişimini gösteren eğriler	40
Şekil 4.3	Sabit sıcaklıkta elde edilen yeniden kristalleşme eğrisi	42
Şekil 4.4	Yeniden kristalleşmenin oluşumu	43
Şekil 2.5	Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisi	44
Şekil 4.6	Soğuk Şekil Değişirme ve Ardından Uygulanan Tavlama İşleminin Malzemenin Özelliklerine Etkisi	46
Şekil 4.7	Çekme deney numunesi	48
Şekil 4.8	Gerilme – birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi	50
Şekil 4.9	Malzemenin şekil değiştirme halleri	53
Şekil 4.10	Geri yaylanma (spring back)	58
Şekil 4.11	Geri yaylanmanın çekme diyagramındaki yeri	59
Şekil 4.12	Malzemelerdeki alt ve üst akma noktası	61
Şekil 4.13	Pekleşme üsteli	64
Şekil 4.14	Saçlarda haddeleme ile tekstür oluşumu	65
Şekil 5.1	Zimba çeşitleri	85
Şekil 5.2	Çift ve tek etkili çekme kalıbı	89
Şekil 5.3	Hidrolik sistemle hareket ettirilen ters çekme kalıbı	95
Şekil 5.4	Çekme kuvveti faktörünün diyagram ile bulunması	98
Şekil 5.5	Baskı plakasız basit bir çekme kalıbı	100

Şekil 5.6	Zimba-açınım teması	101
Şekil 5.7	Kırışmanın oluşumu	102
Şekil 5.8	Kırışıklığın çoğalması	102
Şekil 5.9	Ütüleme ile kırışıklığın giderilmesi	103
Şekil 5.10	İdeal bir çekme kalıbı için bazı ebatlar	104
Şekil 6.1	Pres kolonunun FEM optimizasyonu	108
Şekil 6.2	Ters çekme için tij mili tahrikli tek etkili hidrolik pres	110
Şekil 6.3	Tek etkili mekanik pres	112
Şekil 6.4	Çift etkili mekanik pres	113
Şekil 7.1	Implicit-Explicit yöntem karşılaştırılması	120
Şekil 7.2	One step ile açınımı elde edilen parça	123
Şekil 7.3	Yazılımın girdileri ve yazılımdan alınan çıktılar	123
Şekil 7.4	Şekillendirme sınır diyagramı	124
Şekil 7.5	Ortalama çap ve MR St 1304 için σ - ϵ eğrisi ve ŞSD	127
Şekil 7.6	Birinci operasyon çekme kalıbı	129
Şekil 7.7	ikinci ve üçüncü operasyon çekme kalıbı	130
Şekil 7.8	Çekme kalıplarının autoforndaki analiz sonuçları	130
Şekil 7.9	Parça tabanının konik çekilmesi	131
Şekil 7.10	Üç operasyon için silindir ölçüleri	132
Şekil 7.11	Konik çekilen ilk iki operasyon için analiz sonuçları	132
Şekil 7.12	Son operasyon için analiz sonucu	133

Şekil 7.13	Malzemenin deformasyonu ve boyun vermesi	134
Şekil 7.14	İncelme dağılımı	135
Şekil 7.15	Kalınlık dağılımı kırışma kriteri	135
Şekil 7.16	Kalıp yüzey datası alt görünüş	137
Şekil 7.17	Kalıp yüzey datası ön görünüş	137
Şekil 7.18	Kalıp yüzey datası yan görünüş	137
Şekil 7.19	Üst kalıp yüzey datası üst görünüş ve maksimum çekme yükseklikleri	138
Şekil 7.20	Zimba yüzey datası	138
Şekil 7.21	Baskı plakası yüzey datası	139
Şekil 7.22	Baskı plakası yüzey datası ön görünüş	139
Şekil 7.23	Baskı plakası yüzey datası yan görünüş	139
Şekil 7.24	Ürün son hali	140
Şekil 7.25	Çekme kalıbı teknik resmi	141
Şekil 7.26	Kesme kalıbı 1 teknik resmi	142
Şekil 7.27	Kesme kalıbı 2 teknik resmi	142
Şekil 7.28	Çekme kalıbı closing 1	143
Şekil 7.29	Çekme kalıbı closing 2	144
Şekil 7.31	Çekme kalıbı drawing 2	144
Şekil 7.32	Çekme kalıbı drawing 3	144
Şekil 7.33	Çekme kalıbı drawing 4	145

Şekil 7.34	Şekillenebilirlik durumu	145
Şekil 7.35	Hadde doğrultusuna göre malzemenin akışı	146
Şekil 7.36	Kalınlık dağılımı	146
Şekil 7.37	İncelme dağılımı	147
Şekil 7.38	Kırışma kriteri	147
Şekil 7.39	Baskı plakası basıncı	148
Şekil 7.40	Minor strain	148
Şekil 7.41	Major strain	149
Şekil 7.42	Sürtünme kuvveti gerilmesi	149
Şekil 7.43	Şekillendirme ve incelme sınır diyagramı	150
Şekil 7.44	Kuvvet çıktıları	150
Şekil 7.45	700000 N baskı plakası kuvvetinde sacdaki yırtılma	151
Şekil 7.46	550000 N baskı plakası kuvvetinde sacdaki yırtılma	151

ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekil No	Konu	Sayfa
Çizelge 3.1	Bazı malzemeler için optimum çekme hızları	18
Çizelge 4.1	Çekme testi sonuçları	49
Çizelge 4.2	Bazı malzemelerdeki sıcaklık-elastikiyet ilişkisi	57
Çizelge 5.1	Sac Kalıpların Sınıflandırılması	82
Çizelge 5.2	Sac kalınlığına göre baskı plakası kuvveti hesabı	96
Çizelge 7.1	h/dm e göre kademe sayısı tespiti	127
Çizelge 7.2	S/D ye göre çekme oranı tespiti	128
Çizelge 7.3	Kalınlık-koniklik açısı değişimi	131
Çizelge 7.4	Benzetimde kullanılacak malzeme özellikleri	136

1.GİRİŞ

Kaliteli sacların yüksek miktarlarda ve ucuza mal edilerek üretilmesi, sac şekillendirmeyi içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli üretim yöntemlerinden birisi haline getirmiştir.

Sac metallerin şekillendirme işlemleri, sac şekillendirme sınırını belirleyen şekillendirilebilirlik kavramı ile açıklanmaktadır. Derin çekme, bükme, kesme, gererek şekillendirme sac şekillendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır. Şekillendirilecek parçalar haddelenmiş saclar halindedir ve kalınlıkları diğer boyutlara göre oldukça küçük olduğundan büyük yüzey/hacim oranına sahiptirler. Şekillendirme sonucunda sac metalde şekil olarak büyük değişimler olmasına rağmen, sac kalınlığında küçük değişimler meydana gelmektedir. Sac şekillendirme işlemlerinde, plastik şekil değişim genellikle çekme gerilmeleri altında yapılmaktadır. Elastik şekil değişimleri ise çoğunlukla etkili olmaktadır.

Derin çekme, metalik saclara uygulanan bir plastik şekil verme yöntemi olup prensip olarak, bastırıcı bir piston veya ıstampa ile istenilen şeklin verileceği sac taslağın bir kalıp içerisine çekilerek şekillendirilmesi olarak tanımlanır. Derin çekme işlemlerinde kullanılan çelikler düşük karbonlu çelikler olup, otomotiv, havacılık, beyaz eşya, gıda ve silah sanayiinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Bir sac malzemenin derin çekilmesi sırasında, elde edilmek istenen şekil değişiminin bir bölgeye yoğunlaşarak aşırı ölçüde artması sonucu büzülme ve yırtılma ortaya çıkar. Yani sac düzlemindeki şekil değişimlerinin kritik bir seviyeye ulaşması ile şekillendirme sınırına ulaşılmış olur. Derin çekme işlemlerinde amaç, malzemenin kritik şekil değişim sınırı altında mümkün olduğunca üniform şekil değişimi elde etmektir. Eğer bu sınır aşılsa şekillendirme sırasında hasar meydana gelecektir. Sac malzemelerin şekillendirme özellikleri üç değişik yol izlenerek belirlenebilir;

- Klasik mekanik deneylerin sonuçlarından yararlanarak,

- Şekillendirme yöntemlerinin benzeşimi olan deneylerle(standart laboratuvar deneyleri),
- Şekillendirme sınır diyagramları (Forming Limit Diagrams) yardımıyla.

Bunlar arasında değişik şekillendirme işlemlerine uygulanabilirlik açısından Şekillendirme Sınır Diyagramlarının(ŞSD) kullanılmasının en uygun yöntem olduğu genellikle kabul edilmektedir. ŞSD'ları, düzlemsel gerilmeler altında incelmanın (boyun vermenin) meydana geldiği değişik şekil değiştirme kombinasyonlarındaki kabul edilebilir sınır şekil değişim miktarını vermektedir. Şekillendirilebilir sınırının, iki eksendeki yüzey birim şekil değişimleri ile belirlenebileceği fikri, bugün derin çekme işlemlerinde kullanılan bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarının mantığını oluşturmakta ve derin çekme işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmış bu yazılımlar ile benzetim ve analizler çok kolay bir şekilde yapılabilmektedir. Parçanın sonlu elemanlara bölünmesi ve bu elemanlar için tanımlanan diferansiyel denklemlerin çözümü ile istenen değere yakınsamaya çalışan bu yazılımlar genellikle, herkesin çok çabuk adapte olabileceği, çok iyi bir sonlu elemanlar bilgisi gerektirmemesi sebebi ile oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Sac metal şekillendirme işlemlerinde, belirli bir uygulama için pres seçerken göz önüne alınması gereken ölçütler, presin kapasitesi (elde edilebilen kuvvet ve iş), çalışma prensibi (mekanik veya hidrolik) ve gücün kızağa iletme metodu diğer bir deyişle tahrik tipidir (eksantrik, krank vs. gibi). Mekanik presler genellikle düşük kurslu, nispeten düşük tonajlı ve yüksek hızla çalışmalarından dolayı derin çekme işlemleri için uygun değildir. Kalıpları ise genellikle iki parçadan oluşmaktadır. Çıkıntılı görünüme sahip olan "erkek kalıp (zımba, ıstampa)" adını almakta ve buna karşı çalışan ve girintili şekle sahip olan ise "dişi kalıp(matris veya sadece kalıp da denilmektedir.)" olarak adlandırılmaktadır. Bazı işlemlerde şekillendirilecek sacı sabitlemek için veya işlem sırasında kırışmasını önlemek için "baskı plakası (sıkıştırma çemberi, pot çemberi)" kullanımını da gidilmektedir. Pot çemberinin saca basması ya pinömatik sistemlerin yada çift tesirli kalıpların kullanılması ile sağlanmaktadır.

Saç şekillendirme işlemlerinde değişken sayısı oldukça fazladır ve bunların birbirleri ile etkileşimleri oldukça karmaşıktır. Bunları malzeme ve proses değişkenleri olmak üzere iki ana grup altında toplayabiliriz;

1) Malzeme Değişkenleri

- a) Akma gerilmesi (σ_a),
- b) Elastisite modülü (E),
- c) Pekleşme üsteli(n),
- d) Şekil değişim hızı duyarlılığı(m),
- e) Plastik anizotropi(r),
- f) Gerilme-şekil değiştirme eğrisi veya şekillendirme sınır diyagramı($\sigma-\epsilon$),
- g) Saç kalınlığı(s),
- h) Tane büyüklüğü.

2) İşlem Değişkenleri

- a) Kalıp ve zımba geometrileri,
- b) Yağlama,
- c) Kalıp mamul boşlukları,
- d) Baskı plakası basıncı,
- e) Kalıp ve zımba çapı,
- f) Kalıp-zımba grubu arası eksen kaçıklıkları,
- g) Sac metal ile zımba-kalıp grubu arası sürtünmeler,
- h) Şekil değiştirme hızı,

i) Sıcak-soğuk çekme.

Malzeme ve işlem değişkenlerinin bu kadar fazla olması ürün ve/veya kalıp tasarımının çok iyi yapılması gereğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle gerek parça tasarımının gerekse parçaya yönelik kalıp tasarımının imal edilebilirliği de göz önünde bulundurularak optimum tasarım yapılmalıdır. Bunun için teorik verilerin yanısıra deneysel verilerin ve son zamanlarda gittikçe önemini arttıran bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik programlarının kullanılması ile parça veya kalıp tasarımları ile ilgili ortaya çıkabilecek muhtemel problemler oldukça yüksek oranlarda öngörülebilmekte ve bu verilerden hareketle optimum tasarımlar yapılabilmektedir.

Son yıllarda otomotivdeki sac parçaların imalatında hafif metallerin (alüminyum) kullanımı, kaynaklı saclar ve hidroforming gibi araçta hem hafifleme, hem de mukavemet arttırıcı yöntemlere doğru bir eğilim vardır.

2.KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Günümüzde kullanılan ürünlerin çeşitliliği ve üretim hacminin gittikçe artmasından dolayı geleneksel yöntemler sac metal şekillendirme proseslerinde varlığını sürdüremez duruma getirmiştir. Gelişen teknolojilerle daha karmaşık parçaların üretilmesi için daha sistematik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilgisayar donanımlarındaki ve yazılımlarındaki gelişmelere bağlı olarak bilgisayar benzetimleri de üretim dünyasında daha etkin bir rol almaktadır.

Bu nedenle günümüz teknolojisinde, bilgisayar destekli benzetim teknolojilerini kullanmak artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Son yıllarda bir çok sanayi kuruluşu sadece imalat yapan firma olmaktan çıkarak, parça tasarımında da söz sahibi olabilmek için Araştırma-Geliştirme ve Ürün-Geliştirme faaliyetlerine önem vermektedir. Bu noktada parça tasarımında, maliyeti yüksek olan prototip çalışmalarını azaltmak ve daha hassas verilere ulaşmak gayesiyle bilgisayar yazılımlarından faydalanma yoluna gidilmektedir.

Bu çalışmada implicit çözüm tekniğini kullanan Autoform yazılımından faydalanılmıştır. Kalıp tasarımında, parçanın uygun bir şekilde şekillendirilebilmesi için kaç kademedен meydana geleceğini belirlemek, oluşabilecek kırışmaları, incelm ve kalınlaşmaları en aza indirmek gayesiyle bu tür yazılımların kullanım alanı gittikçe genişlemektedir.

3. DERİN ÇEKME

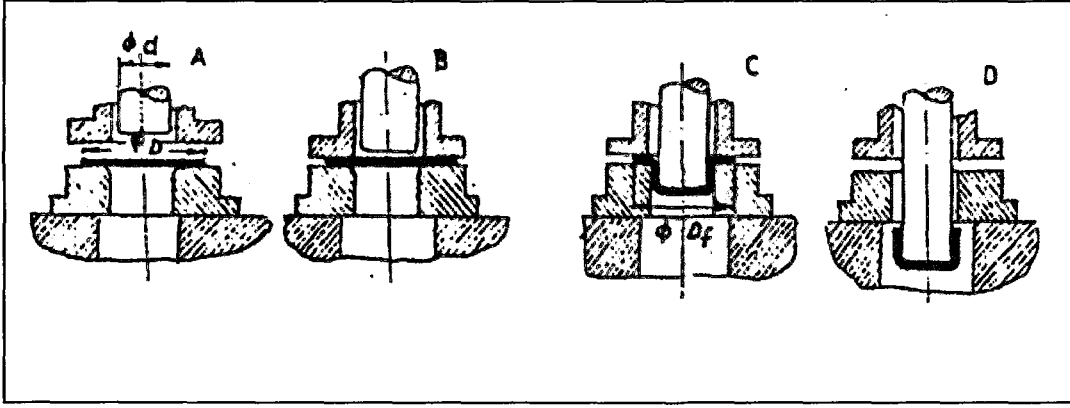
3.1 GİRİŞ

Sac kalıpcılığında parça ya kesilmekte, ya da biçimlendirilmektedir. Bu nedenle sac kalıpcılığını kesme ve biçimlendirme olmak üzere iki ana gruba ayırabiliriz.

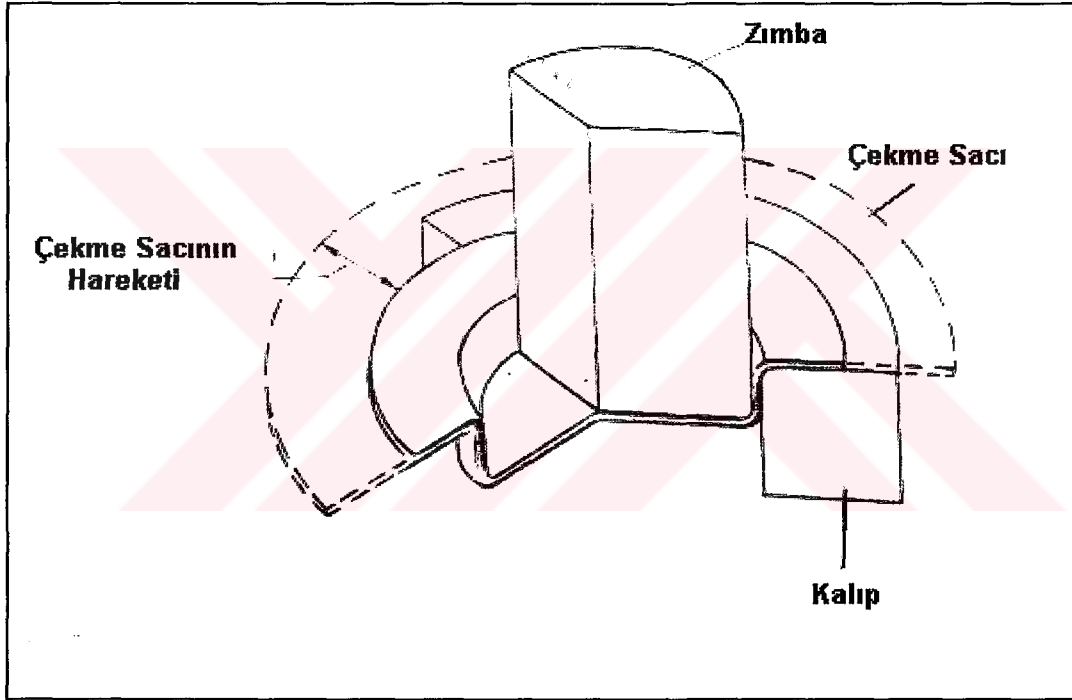
Çekme, genellikle metal olmak üzere, düz levha durumundaki malzemelerden, içi boş, dikişsiz kap veya değişik parçaların biçimlendirmek suretiyle elde edilmesidir. Çekmenin tarifinden de anlaşıldığı gibi bu tip biçimlendirme işlemiyle elde edilecek parçaların sayısı sonsuzdur. Bunun bir neticesi olarak da şunu söyleyebiliriz ki, biçimlendirme işlemlerinin en önemlisi çekmedir.

Derin çekme, sac levhalara uygulanan bir plastik şekil verme yöntemi olup prensip olarak bu yöntem, bastırıcı bir piston veya ıstampa ile istenilen şeklin verileceği sac taslağın bir kalıp içine çekilerek şekillendirilmesi işlemine dayanır. Parçanın üzerinde bulunan formlar yerel şekil değişimlerini artırarak özellikle derinliği fazla olan parçaların homojen bir şekilde akmasını zorlaştırarak veya engelleyerek tek bir çekme işlemiyle istenilen parçanın elde edilememesine sebep olacağından, parçanın derinliğini artırmak ve kesit ölçülerini küçültmek suretiyle yapılan tekrarlı çekme işlemleri ile son ürün elde edilebilir.

Çekme işleminin ne şekilde cereyan ettiğini anlayabilmek için, "D" çapında açınımaya sahip olan bir sac levhanın silindirik çekme ile "d" çapında kovan şeklinde bir yapıya dönüştürme işlemini, çift tesirli prese bağlanmış şekil 3.1 deki çekme kalıbından adım adım görmek mümkündür. Çekmenin ilk adımı olan B de görüldüğü gibi baskı plakası "D" çaplı pul üzerine basar. İkinci adımda çekme zımbası parçayı çekme kalıbı içerisine iterek flanş çapı "D_f" olan "d" çaplı bir kovan elde edilir. İstenirse zımba daha da aşağı indirilerek yine "d" çapında ve "h" yüksekliğinde silindirik bir kovan elde edilebilir. Şekil 3.2 de ise derin çekilen bir sac parçanın, kalıp içine hareketinin kesiti görülmektedir.

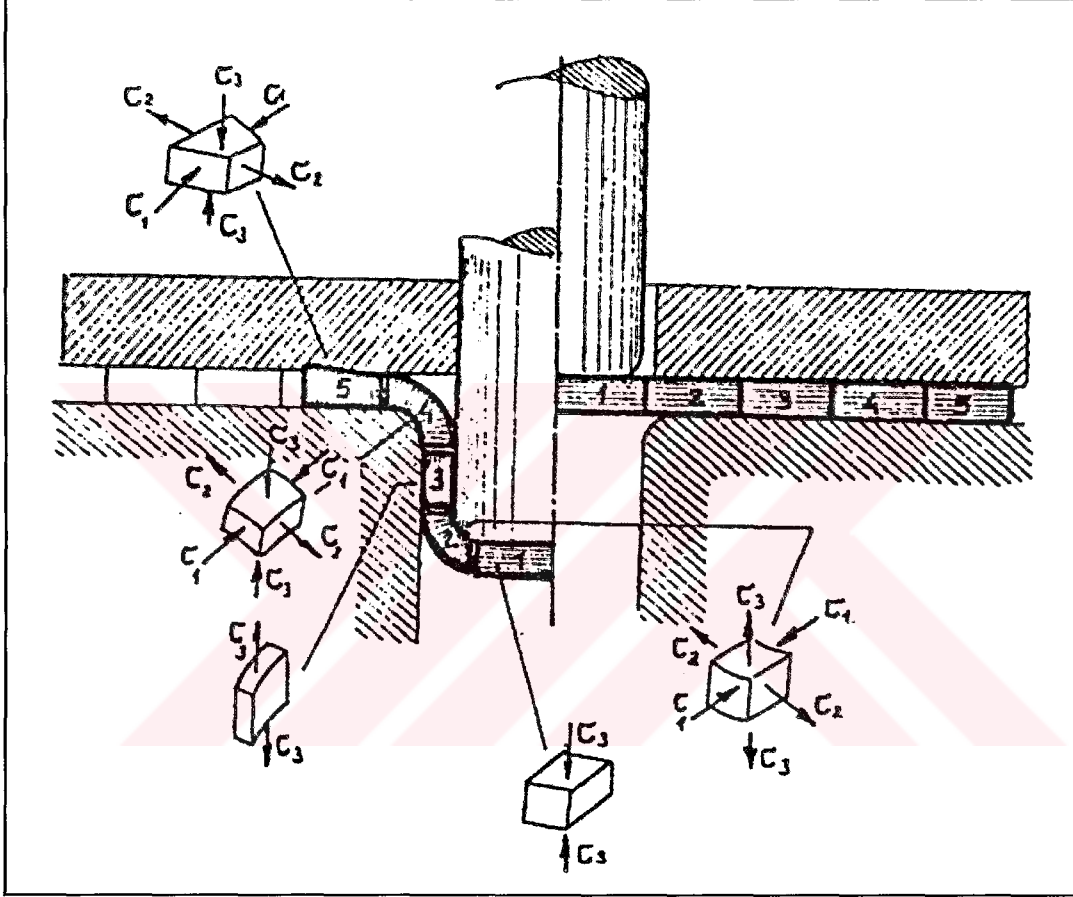


Şekil 3.1 Baskı plakalı çekme kalıbı(Güneş 1989)



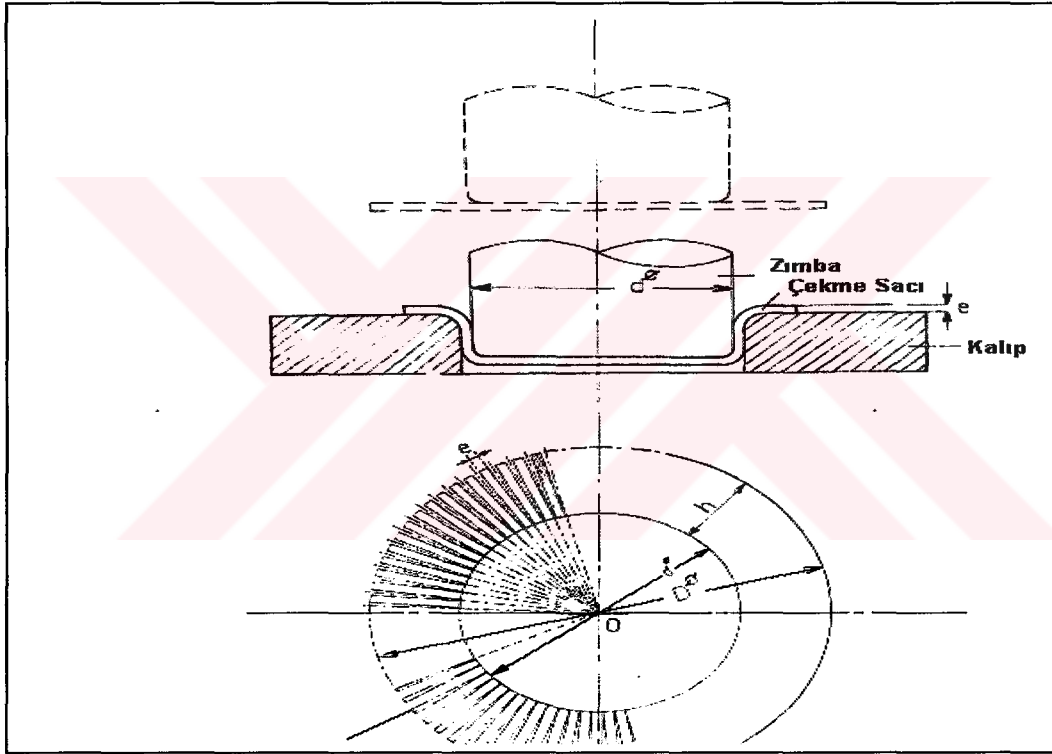
Şekil 3.2 Silindirik çekmede sac hareketinin kesit görünüşü

Şekil 3.3 de ise çekilecek parça yüzeyi 5 elemana bölünmüş ve çekme işleminin herhangi bir anında bu elemanlar üzerine gelen gerilmeler görülmektedir. Şekil incelendiğinde 1 ve 5 numaralı elemanların çekme işleminde en az deformasyona uğramış olduğu görülecektir. Aynı şekilde en fazla deformasyona uğrayan elemanında anlaşılacağı üzere 4 numaralı eleman olduğu görülecektir.(Güneş 1989).



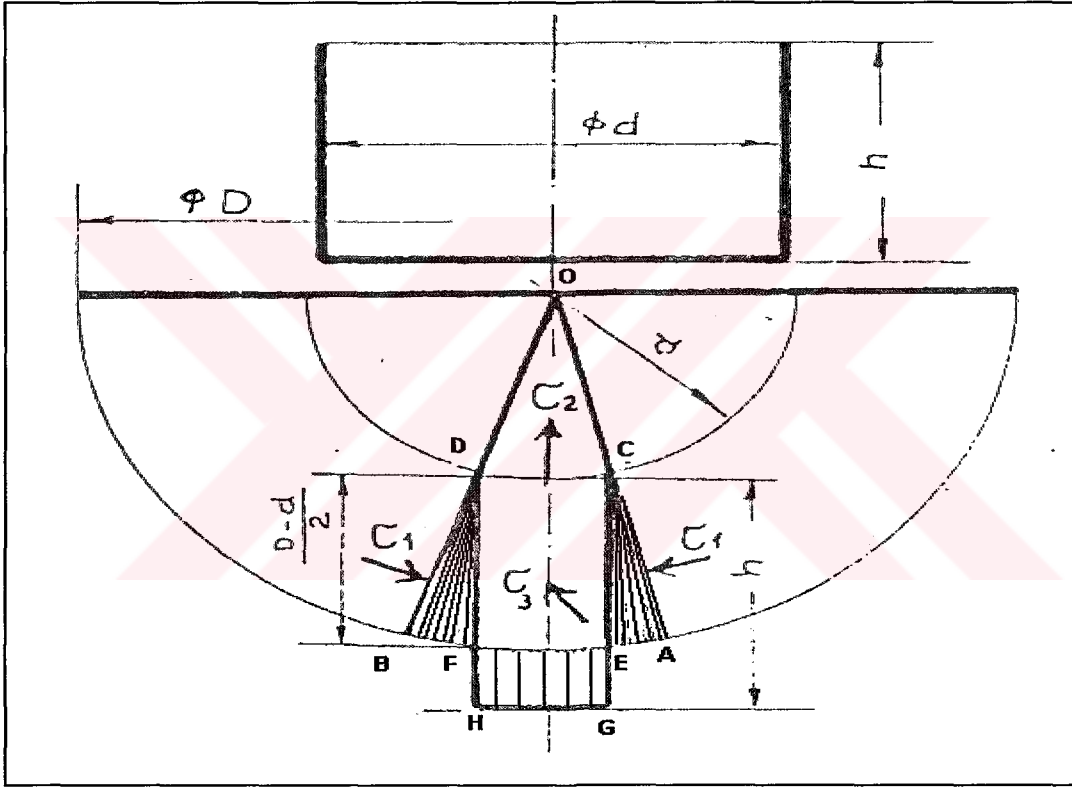
Şekil 3.3 Silindirik çekmede malzemedeki yerel gerilmeler

Şekil 3.4 de aralarında daire yayı uzunluğu e olan d çapındaki daire üzerine O merkezli yarıçaplar çizilmiştir. Bu yarıçapları D merkezine kadar uzatırsak d - D çapındaki dairelerin sınırladıkları alan üzerinde kenar uzunlukları e ve h olan her biri diğerinden bir üçgenle ayrılmış (karakteristik üçgen) dikdörtgenleri elde ederiz. D çapındaki malzemedan d çapında bir kap elde edilebilmesi için kenar uzunlukları e ve h olan dikdörtgenlerin d çapındaki daire etrafında $\pi/2$ kadar kıvrımak yeterlidir. Bu işlem sırasında karakteristik üçgenlere ait malzeme katlanmalara sebep olabilir. Bunun önüne geçmek için baskı plakası kullanılır. Baskı plakası malzemeyi radyal doğrultuda akmaya zorlayarak katlanmalara engel olur (Çapan 1974).



Şekil 3.4 Çekmenin karakteristik üçgenlerle açıklanması

Şekil 3.5 de karakteristik üçgen ve derin çekme esnasında kenarlarına uygulanan gerilmeler ile D çaplı bir pulun h yüksekliğinde ve d çapında bir kovan haline getirilmesi görülmektedir. Burada çekilmiş parça ve açınım mukayese yapabilmek için birlikte gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere OAB ilkel parça dilimi çekmeden sonra OCGHD şeklini almıştır. OCD kısmının deformasyon olmadığı düşünülürse ABCD elemanı deforme olarak HDCG şekline dönüşmüştür. CEDF elemanı müşterek olduğundan AEC ve FBD elemanları deforme olarak GEFH elemanını meydana getirmektedirler. Böylece, ACE+FDB=GEFH olmaktadır.



Şekil 3.5 Karakteristik üçgen detayı

Bu incelemelerden sonra çekme işlemleri için genel olarak şu kaba kaideleri çıkarabiliriz.

- Çekilecek parçanın taban yüzeyinde çekmeden ötürü deformasyon hemen hemen olmamaktadır,

- En büyük deformasyon çekilmiş parçanın flanş kısmına yakın yerinde olmaktadır,
- Büyük malzeme akışı bulunan yerlerde bir miktar kalınlık değişimi meydana gelmektedir.

Sac malzemelerin derin çekme proseslerinde yırtılma ve kırılma problemleri öncelikle dikkate alınması gereken noktalardır. Bundan önce yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin neticesi, zımba (erkek) kursuna göre uygun bir şekilde seçilen baskı plakası profiline göre uygulanacak en uygun kuvvet ile bu problemlerin büyük ölçüde aşılabileceğini göstermektedir. Klasik yöntemlerle basit kap şeklindeki parçaların simetrik derin çekilmesi esnasında yapılan hesaplar, simetrik olmayan parçaların derin çekilmesi için önemli bir yaklaşım yöntemi olarak günümüzde hala kullanılmaktadır.

Çekme prosesi boyunca, deforme edilen malzemedeki gerilme durumu önemli bir şekilde değişir ve şekillendirilen parçanın kalitesi çekme derinliği tarafından etkilenir. Kalıba aşırı miktarda metal akışının olması kırışmalara sebep olurken, yetersiz malzeme akışı ise malzemedeki yırtılmalara sebep olacaktır. Baskı plakası profil kuvveti bu noktada çok önemli rol oynamaktadır. Eğer bu kuvvet doğru bir şekilde uygulanırsa hem meydana gelebilecek kırışmalar önlenecek hem de yırtılma geciktirilecektir. Genellikle derin çekmede zımba kursu boyunca sabit bir baskı kuvveti uygulanır (Thomas, Oenoki ve Altan 2000).

İyi bir baskı plakası profili sonlu elemanlar benzetimi ile veya deneysel yöntemlerle elde edilebilir. Basit geometrik parçalar için baskı plakası profilleri analitik olarak belirlenebilir. Ancak şu ana kadar analitik olarak belirlenen bir çok baskı plakası profilinin deneysel verilerle çok iyi bir şekilde uyummadığı gözlemlenmiştir. Baskı plakası profilini belirlemek için kullanılacak etkili bir yol sonlu elemanlar benzetimleridir. Bu yöntemde, şekillendirme prosesinin benzetimi yapılır, proses benzetimindeki zaman adımlarına bakılarak parçanın şekillenmesine bağlı olarak baskı plakası profili için bir kontrol stratejisi belirlenir. Öncelikle kaba bir çözüm yapılarak elde edilecek verilere göre

değerlendirme yapılmalıdır. İlk çözümden elde edilecek şekillendirme, kırışma yükseklikleri, incelmeler, kalınlaşmalar, yapılacak proses ve malzeme optimizasyon verilerine göre daha farklı çıkacaktır. Böylelikle çekme operasyonu boyunca baskı plakası profili sürekli değiştirilerek en uygun profil elde edilebilir.

Sonuçların optimizasyonu esnasında mesela çıkan kırışmaların her bir adım için birbirine göre kıyaslamaları, hatta parçanın flange ve duvar kısımları için bile ayrı ayrı değerlendirmeleri yapılabilir. Ancak bu şekilde bir değerlendirme yaparken, implicit yöntemlerde zaman adımlarının büyük olması sebebiyle ara kademelerde gerçekte olması gereken benzetime yaklaşma toleransının yeterli hassasiyet derecesinde olmayabileceği ihtimali gözönünde bulundurulmalıdır.

Sac parçanın şekillendirilmesi sırasında meydana gelen kırışmayı, sacın açınımı, malzemenin mekanik özellikleri, baskı plakasının malzemeye temas etme durumu ve proses parametreleri gibi faktörler etkiler. Yırtılma, şekil değişimi ve gerilme esaslı bir kriter olup şekillendirme sınır diyagramı ve gerilme sınır diyagramı yardımı ile bulunur.

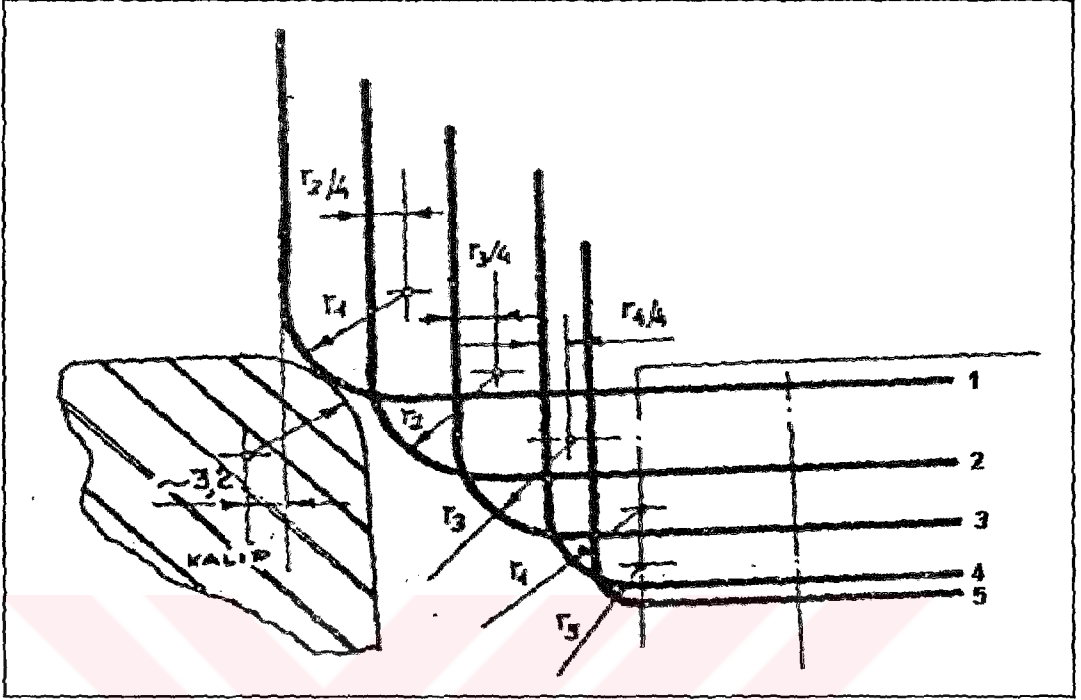
Şekillendirme, belirli bir deformasyon işleminde kırılma, büzülme gibi herhangi bir malzeme karasızlığı olmaksızın elde edilebilecek en fazla deformasyon miktarı olarak tanımlanır. Şekillendirilebilirlik, malzeme (pekleşme üsteli, şekil değişim hızı duyarlılığı, plastik anizotropi, akma noktası, elastiklik modülü, sac kalınlığı, tane boyutu) ve proses özelliklerinin (kalıp dizaynı, kalıp malzemesi, baskı plakası basıncı, yağlama, pres hızı) bir fonksiyonudur. Genel olarak işlem değişkenleri, sac üzerine gelen dış zorlanmayı tanımlarken, malzeme değişkenleri sac malzemesinin bu yüklemeye göstereceği direnci belirlemektedir. İşlem değişkenlerinin değişmediği durumda, malzeme özelliklerindeki bir değişiklik, sac üzerindeki şekil değiştirme durumunu değiştirecektir. Bu yüzden sacın zorlanma durumu tamamıyla işlem değişkenleri tarafından kontrol edilememektedir.

3.2 Prosesle Bağlı Parametrelerin Şekillendirmeye Etkisi

Kalıp ve zımba geometrileri, konfigürasyonları, kalıp-ürün boşlukları, baskı plakası basıncı gibi değişkenler, sac Şekillendirme işlemlerini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu faktörler aynı zamanda Şekillendirme işlemlerinin sınırlarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadırlar. Bu parametreler arasında, kalıp ve zımba radyüsü bölgesel Şekil değişimlerinden dolayı oldukça önemlidir. Tasarımcılar tarafından keskin hatlara sahip karmaşık Şekilli parçalar için küçük radyüslü zımbalar kullanılır. Fakat bu radyüslerin oluşturduğu büyük yerel Şekil değişimlerinden dolayı, bu tür parçaların imalatında büyük zorluklar açığa çıkar. Radyüs üzerindeki bölgesel Şekil değişimleri, deformasyonun diğer bölgelere yayılmasını önleyerek hasar olasılığını artırır. Bu tür parçalarda yumuşak geçişlerin olmayışı, işlem sırasında kalıbın deformasyonu takip edememesi problemini ortaya çıkarabilir. Bu problemi ortadan kaldırmak için daha büyük zımba radyüsleri kullanımı yoluna gidilmektedir. Ayrıca montaj sırasında, zımba-kalıp grubundaki eksen kaçıklıkları da Şekillendirme sırasında sacda oluşan farklı doğrultulardaki kuvvet bileşenlerini değiştirecektir. Bu eksen kaçıklıkları malzemenin kalıp içine akışı esnasında süreksizlik meydana getirirerek parça üzerinde hasar meydana getirir.

Küçük taban kavisli parçaların taban kavisini elde edebilmek için ilave operasyonlarla çaplanması gereklidir. Şekil 3.6 da 5. operasyon ile 4. operasyonda verilen parça dip radyüs merkezleri bu nedenle aynıdır.

Birden fazla Şekillendirme işlemlerinde, ilk aşamada germe Şekil değişimine uğrayan bölgeler bir sonraki aşamada derin çekme Şekil değişimine maruz kalabilir. Yükleme sırasındaki bu tür değişimler, farklı malzemeler üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Örneğin konteynir endüstrisindeki derin çekilmiş kaplarda, ütöleme yöntemi kullanılarak çekme ve basma gerilmelerinin beraberce etkimesi ile sac kalınlıkları azaltılmaktadır. Optimum şartlarda yerine getirilen bu teknikler, derin çekme sırasında meydana gelen kırışmaların giderilmesinde oldukça etkili olmaktadır.



Şekil 3.6 Taban çekme radyüsü ölçüleri

Düşük süneklığe sahip yüksek dayanımlı malzemelerin germe ve bükme şekillendirme işlemlerinde, genel olarak elastik kalıplar kullanılır. Şekillendirme işlemi sırasında, elastik kalıplar dişi kalıp görevi yaparlar. Zımbanın hareketi ile sac malzeme elastik kalıp içinde şekillendirilir ve zımbanın formunu alır. İşlem sırasında sac malzemeye elastik kalıp tarafından tüm doğrultularda aynı basınç uygulanır. Üniform bir basınç dağılımı söz konusu olduğundan, basma gerilmeleri daha üniform bir incelme sağlar ve küçük radyüsler üzerindeki bölgesel şekil değişimleri ve bükme bölgelerindeki şekil değişimleri azaltılır. Şekillendirilmesi zor parçalar, sıkı sık bu tür sac şekillendirme yöntemi ile üretilmektedir.

3.2.1 Kalıp Dizayn Etkisi

Kalıpta dikkat edilmesi gereken tasarım faktörleri kalıp derinliği, kalıp yüzey pürüzlülüğü, baskı kuvveti, kalıp ile zımba arasındaki boşluk ve kalıp temizliğidir. Çok derin kalıp çeliğin elastik limitinin aşılmasına neden olur. Yüzey pürüzlülüğünün artması sürtünme kuvvetinin artmasına dolayısıyla malzeme

akışının azalmasına neden olur. Sıkıştırma kuvvetinin fazla olması malzeme akışını zorlaştırır ya da engeller ve fazlaca germeye neden olur. Kalıp ile zimba arasındaki açıklık ilişkisi, biçimlendirme sırasında kalıp ile zimbanın üstüste binmesi ya da açıklığın fazla olması nedeni ile hedeflenen deformasyonun malzemeye verilememesi gibi sonuçlar doğurur. Kalıbın temiz olması malzemenin zimba üzerinde germe olmadan rahatça akarak şekil almasını sağlar.

Zimba ile kalıp arasındaki boşluk (çekme boşluğu) büyük ise çekme işlemi daha rahat gerçekleşecektir. Zimba kuvveti daha küçük olacak ve çekmeye tabi tutulan malzeme daha az zorlanacaktır. Çekme boşluğun büyük olmasıyla derin çekme için gerekli kuvvetin azalmasına karşılık aşağıdaki problemler oluşacaktır;

- Boşluğun gerekenden fazla olması cidar profilinin bozulmasına sebep olur. Özellikle pirinç gibi yumuşak malzemelerde sacı tutma kuvvetinin yetersiz kalması istenilen profilde ürünün elde edilmesine engel teşkil eder.
- Boşluğun büyük olması ile birlikte zimbanın aksenel çalışma toleransında büyük olacağından yine üründe sapmalar meydana gelir.
- Çekme parçası cidarında katlanmalar olabilir.

Ayrıca çekme boşluğu sac kalınlığından az ise, bu durum sacın ezilmesine ve çekme parçası cidarının incelmesine yol açar.

Deneysel verilerden elde edilen sonuçlara göre aşağıda malzemeye göre değişen çekme boşluğu formülize edilmiştir.

Çelik için $\text{çekme boşluğu} = s + 0,07 \times 10e^{1/2}$

Alüminyum için $\text{çekme boşluğu} = s + 0,02 \times 10e^{1/2}$

Bükme ve kesme açıları dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli tasarım parametresidir. Araştırmacılara sıkça gelen bir sorun da zor bükme operasyonlarında daha önceki partilerde başarıyla üretim yapılmışken malzemede hasar görülmesidir. Normal olarak bu gibi durumlarda hasarın nedeninin malzemeden kaynaklandığı düşünülmektedir, fakat bu her zaman doğru bir tahmin olmayabilir. Deforme olan çelik özel limitler içinde olabilir, fakat her zaman zor koşullara dayanabilecek kadar iyi olmayabilir.

Kademeli deformasyon işlemlerinde kırılmayı önlemek için hangi kalıpta değişiklik yapılacağına karar vermek zordur. Öncelikle yapılan işlemlerdeki kalıp ayarlarının değiştirilmesi son kademelere göre genelde daha basit ve daha faydalı sonuçlar verir. Bu gibi işlemler için bir çarpım faktörü kullanılabilir. İlk kademelerde yapılacak küçük değişiklikler nihai üründe büyük deformasyon oranlarında kendini gösterir.

3.2.2 Yağlama, Operasyon Hızı ve Sıkıştırma Basıncı Etkisi

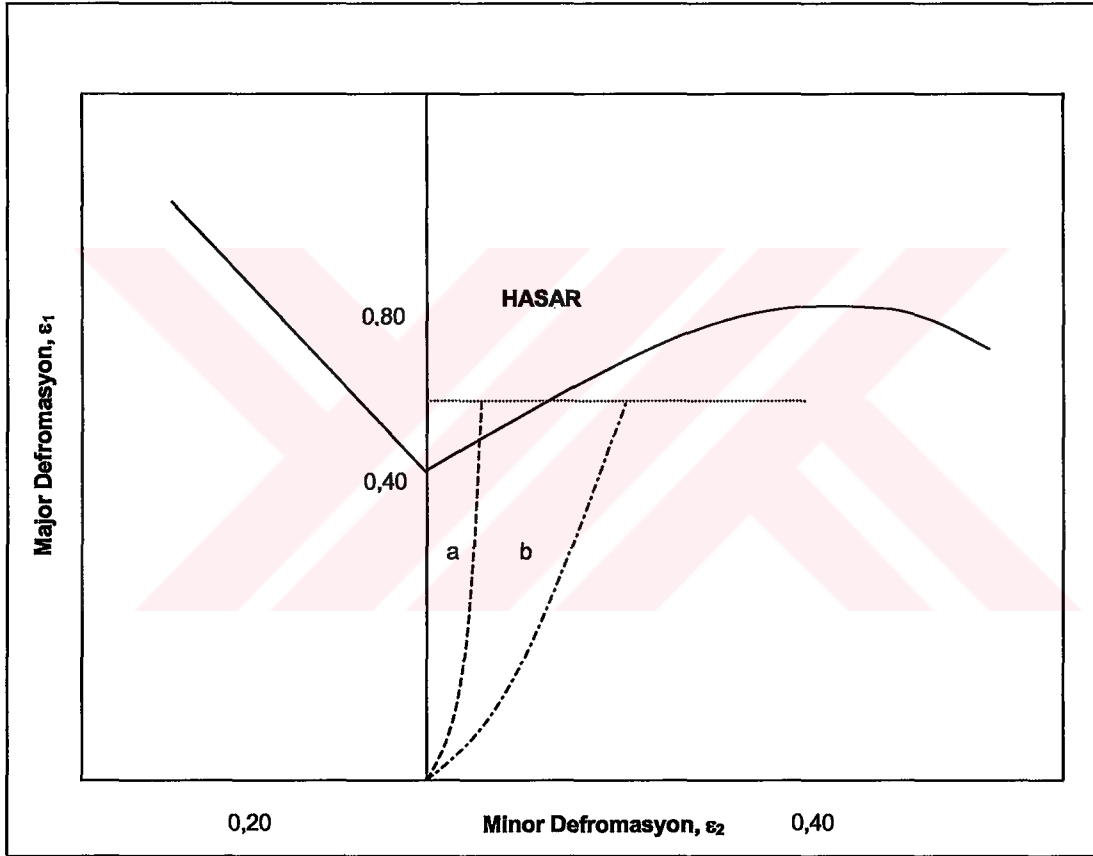
Yağlama, çekme sacı ile kalıp ve baskı plakası arasındaki sürtünmeyi azaltarak, çekme işleminin daha küçük bir kuvvetle yapılmasını, aşınmanın azalmasını dolayısıyla takım ömrünün artmasını ve çekme parçası yüzeyinin daha kaliteli olmasını sağlar.

Eğer yağlayıcı uygun viskozite ve yağ filmi mukavemetinde değilse ya da korozif etmenler içeriyorsa levhada çatlak, çizik, çentik veya kötü yüzey görünümüne neden olabilir. Yağlama, biçimlendirme sırasında üniform deformasyonu artırıcı rol oynar. Ayrıca yağlama deformasyon oranının değişmesine etki eder. Şekil 3.7 den de görülebileceği gibi eğer bir malzeme "a" ile gösterilen deformasyon bölgesinde çalışıyor ise yağlama miktarı artırılarak "b" bölgesine çekilebilir ve hasarın oluşması önlenir.

Şekillendirme sırasında, metal akışı metal ile zımba kalıp grubu arasındaki sürtünme kuvvetleri tarafından kontrol edilir. Bu kuvvetler şekil değiştirme hızına duyarlıdır. Artan şekil değişim hızı, metalin sünekliğini azaltabilir ve sacın gerilerek hasara uğramasına sebep olabilir. Buna karşın

artan hız, kalıp ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak daha üniform bir incelme meydana getirebilir ve malzeme üzerindeki bölgesel ısınmalar ile malzeme davranışlarının değişmesinde etkili olabilir. Sonuç olarak, farklı hızlarda farklı malzeme duyarlılığı elde edilebilmektedir.

Yağlama, kalıp ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak, şekillendirme sırasında daha üniform şekil değişimlerinin meydana gelmesinde rol oynar. Yağlama şartlarının iyileştirilmesi ile deformasyon sırasında şekil değişim oranları da değişecektir.



Şekil 3.7 Şekillendirmede deformasyon bölgesinin yağlamayla değişimi

Zımbanın çekme sacına değdiği andaki hızına çekme hızı denir. Her soğuk şekil değişiminde meydana gelen pekleşme olayı büyük ölçüde şekil değişimi hızına bağlı olup $m=d/D$ kademelendirme sayısına aksi yönde etkir. Ayrıca çekme parçası dip kısmına etkiyen zimba kuvvetinin yüksek hız

sebebiyle dağılmaya vakit bulamaması dip radyüs bölgesinden ayrılmalara sebep olur.

Şekillendirmede malzeme akışı ekipman ile malzeme arasındaki sürtünme kuvvetleriyle kontrol edilir. Bu kuvvetler hıza duyarlıdır ve aşırı deformasyon hızı sürtünme kuvvetlerini aşarak erken hasara neden olabilir. Levhanın ve kalıbın sıcaklığı işleme sırasında yağın özelliğini kaybedebilecek seviyeye kadar çıkabilir. Bu gibi durumlarda yağ görevini tam anlamıyla yapamayacağından yine sürtünme kuvvetlerinin artması nedeni ile erken hasar oluşabilir. Her metal için optimum bir çekme hızı vardır. Silindirik parçaların çekilmesinde, bazı malzemeler için optimum çekme hızları çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Bazı malzemeler için optimum çekme hızları (Güneş 1989)

Malzeme	Tek Etkili Presler İçin Çekme Hızı(mm/s)	Çift Etkili Presler İçin Çekme Hızı(mm/s)
Çelik	300	180-250
Alüminyum	900	500
Bakır	750	430
Pirinç	1000	500

Sıkıştırma bölgesi ve sıkıştırma basıncı malzemenin biçimlendirme sırasında germeyle deformasyon ile sürtünme arasındaki oranı belirler. Sıkıştırma basıncının artırılması biçimlendirmede deformasyon miktarının artmasına neden olur, fakat kırışmayı engeller. Kırışmanın nedeni flanş ya da kap kenarlarında meydana gelen yüksek dairesel basma kuvvetleridir. Sıkıştırma çapı büyük ise zımba kuvveti artacak ancak uygulanacak kuvvet kırışma için gerekli olan kuvvet değerini aşabilecektir. Bunu engellemek için yeterli tutucu kuvveti uygulamak gereklidir.

3.2.3 Ürün Geometrisi

Presleme işleminde önemli bir konuda artıklardır. Bir levhadan istenilen özellikte en fazla parçayı çıkartmak ya da bir levhayı en etkin şekilde kullanmak istenilir. Bununla birlikte levhanın mekanik özelliklerinin yöne bağlı olarak değişim göstermesi bu amaca engel teşkil eder. Eğer şekil verme farklı yönlerde yapılırsa hasar olma olasılığı vardır.

Diğer faktör ise kenar etkisidir. Eğer kenarlarda fazla yanıklar varsa şekillendirilebilirlik düşer, özellikle tufal olan kısım şekillendirilen parçanın dış kısmına denk geldiğinde olur. Bıçakların körlenmesi ya da kötü temizlemeden dolayı istenmeyen deformasyon sonuçlarıyla karşılaşılabilir. Aşırı yanmış bölgeler yüksek deformasyona tabi tutulursa çatlaklar oluşabilir.

3.3 Malzemeye Bağlı Parametrelerin Şekillendirmeye Etkisi

Sac şekillendirmede en önemli rol oynayan malzeme özellikleri, plastik akma ve kırılma davranışlarıdır. Bu özellikler, malzemenin kimyasal bileşimi, döküm tekniği, sıcak-soğuk haddeleme gibi faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bir malzemenin dayanımını artıran etkenler, genellikle şekillendirilebilirliğini azaltırlar. Bu etkenler;

- a. Katı çözültü sertleşmesi olarak bilinen alaşımlandırma,
- b. Çökelme veya dispersiyon sertleşmesi,
- c. Soğuk şekil verme ve ince taneli yapı,
- d. Çelikteki martenzit yapısı gibi sert fazlardır.

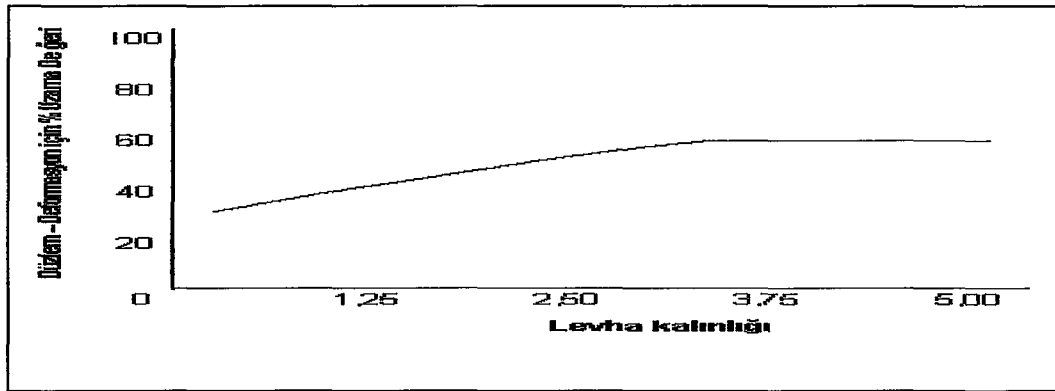
Sac şekillendirilebilirliğini etkileyen malzeme değişkenleri, çekme deneyi sonucu elde edilen elastiklik modülü, akma noktası, pekleşme üsteli, deformasyon hızına duyarlılık katsayısı, plastik anizotropi değerleri olarak sayılabilir. Bunlarla ilgili detaylı bilgiler 2. kısımdaki malzemeler bölümünde verilmiştir.

Levhanın Kalınlığı Tane Boyutu :

Malzemelerin preste şekillendirilebilme kabiliyeti malzemenin prese girmeden önceki kalınlığıyla yakından ilişkilidir. Malzeme kalınlığı arttıkça verilebilecek deformasyon miktarı da artar. Levha kalınlığının kopmadaki etkisini görmek amacı ile 0,5 ve 2,0 mm. kalınlıkta alüminyum numuneler çekme deneyine tabi tutulmuş, deney sonuçlarına bakıldığında çekme mukavemeti ve deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerlerinin değişmediği, ancak % kopma uzaması değerinin 0,5 mm. lik sac için daha az olduğu gözlemlenmiştir. Levha kalınlığının artmasıyla levhadaki kusurların etkisinin azalması nedeni ile biçimlendirme limiti artmaktadır.

Normalde presleme işleminde kullanılacak levhalar için, boşluk gibi içi yapı kusurları kadar yüzey pürüzlülüğü de deformasyon limitine etki eder. Belirli bir deformasyon miktarı için yüzey pürüzlülüğünün etkisi malzeme kalınlığı azaldıkça artar. Bu nedenle belirli kalınlığın üzerindeki levhalar için yüzey pürüzlülüğünün etkisi yoktur. Yüzey pürüzlülüğünün tane boyutuyla doğru orantılı olması nedeniyle deformasyon limitinin tahmininde levha kalınlığının yanı sıra tane boyutu da dikkate alınmalıdır.

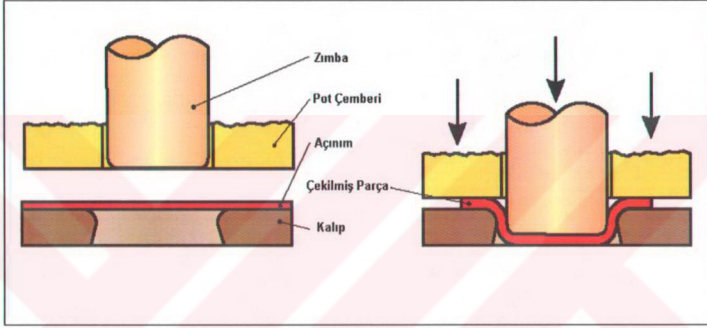
Şekil 3.8 de malzeme kalınlığının şekillendirme sınır diyagramının en alt noktası yani düzlem deformasyon koşulunu ifade ettiği bölgeyle ilişkisini vermektedir. Buradan görülebileceği gibi levha kalınlığının etkisi yaklaşık 3 mm. sonrası için sabit kalmaktadır.



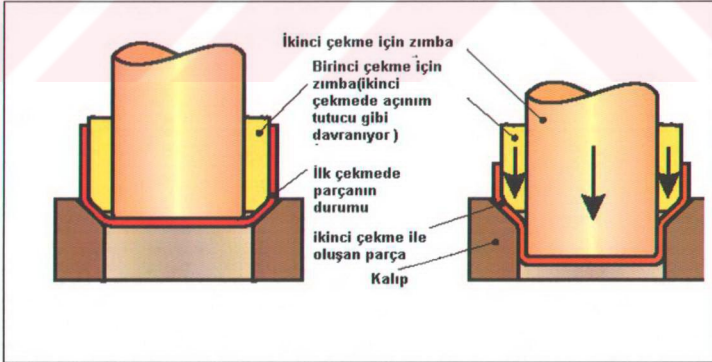
Şekil 3.8 Düşük karbonlu çelikte düzlem deformasyon koşulundaki % uzama değeri ile levha kalınlığı ilişkisi

3.4. Derin Çekme ve Germe Çekme

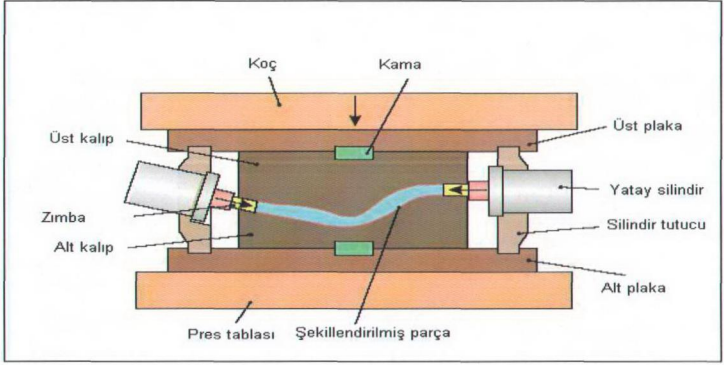
Derin çekme operasyonlarındaki şekillendirme sert veya yumuşak malzemelerle, sıvı (hidroforming-şekil 3.11) ile veya mağnetik enerji ile yapılabilir. Şekil 3.9 ve 3.10 da bunlarla ilgili uygulama örnekleri verilmiştir. Derin çekme prosesi, zımba, baskı plakası (açınım tutucu=pot çemberi) ve dışı kalıbı kapsayan bir prosestir. Sığ parçalarda, yüzeyde büyük oranda değişim olmadığı için kalınlık yönünde bir değişim söz konusu olmaz. Derin çekme prosesinde malzeme akışı, baskı plakası ayarlanarak kontrol edilebilir.



Şekil 3.9 Baskı plakalı derin çekme

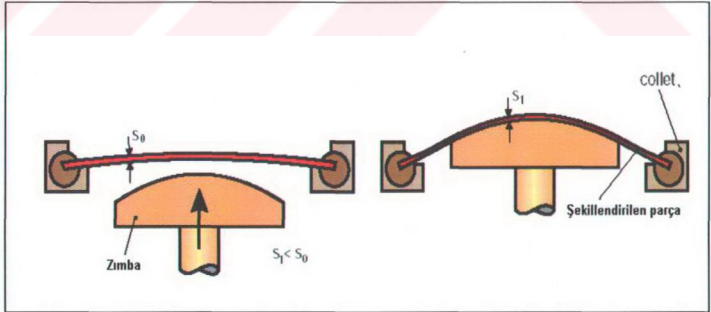


Şekil 3.10 Teleskopik zımba ile çoklu derin çekme



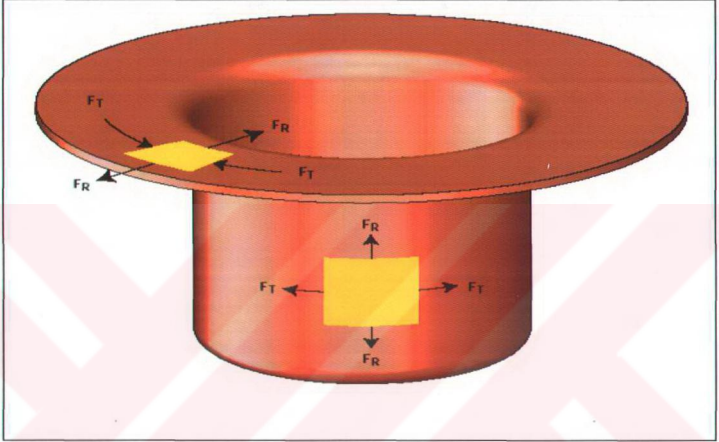
Şekil 3.11 Hidroforming kalıbı

Derin çekmeden farklı olarak, gererek şekillendirme işleminde (Şekil 3.12), sacın açınım tutucu veya klempler ile tutulmasından dolayı metal akışı olmaz. Derin çekme prosesinin sonucunda oluşan parçanın kalınlığında değişiklik çok az olurken gererek şekillendirme işleminde parçanın kalınlığında büyük değişimler olur. Gererek şekillendirme, gerilme kuvvetleri altında oluşturulan bir şekillendirme işlemidir. Özellikle büyük ölçekli parçalar örneğin havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanılan gövde parçaları, özel üretim hatlarında üretilir. Bu üretim şeklinin uçak kanadı gibi büyük veya düşük hacimli parçaların üretiminde kullanılması son derece mantıklıdır. Bu prosesin avantajı, kalıp parça ve işleme maliyetlerinin üretilen parçanın boyutuna oranla daha ucuz olmasıdır.



Şekil 3.12 Gererek şekillendirme

Derin çekilen bir parça radyal gerilme kuvvetleri(F_r) ve teğetsel baskı kuvvetlerine(F_t) maruz kalır (şekil 3.13). Malzemeye teğetsel yönde baskı kuvvetleri ve radyal yönde gerilmeler uygulanır. Çekme derinliği yükseldikçe, deformasyon miktarı ve deformasyona karşı dirençte artacaktır. Sac parçaya en çok zımbanın köşesi tarafından gerilme uygulanır. Dolayısıyla bu bölgelerde yırtılma meydan gelme riski daha büyüktür.

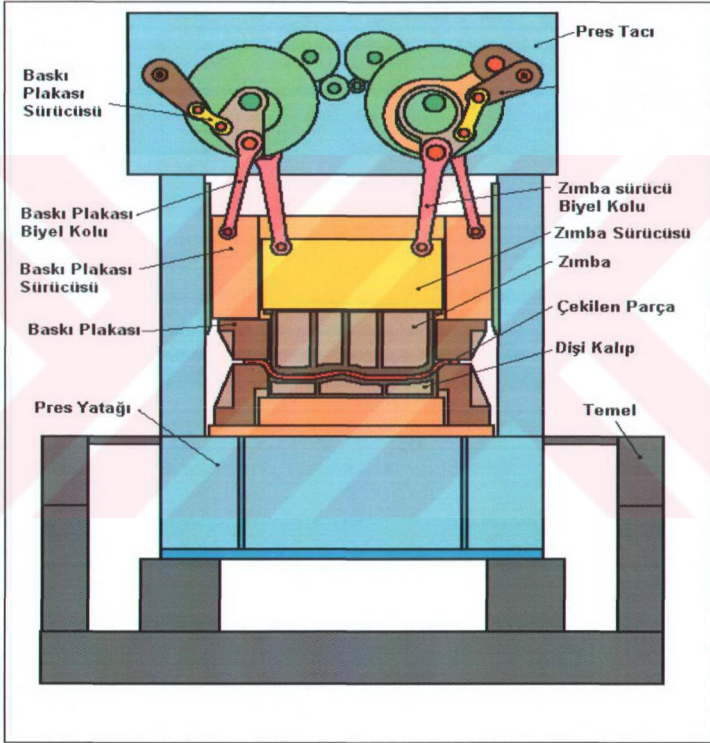


Şekil 3.13 Dairesel bir kabın baskı plakalı derin çekmesinde meydana gelen gerilmeler

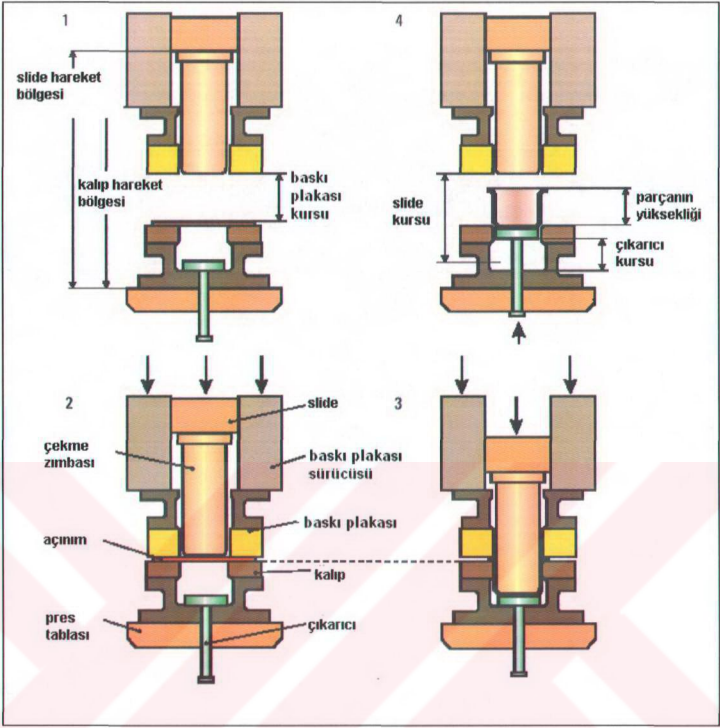
Çekme baskı plakası ile yapıldığı zaman, pres ayrıca baskı kuvvetini de kalıba iletmemelidir. Bu ya presin kendinde var olan baskı plakası ile ya da pres tablası altındaki tij milleri sayesinde olur. Baskı kuvvetini uygulamanın 3 değişik yolu vardır.

Çift etkili preslerde (şekil 3.14) çekme zımbası yanında bir de baskı plakası hareketini sağlamak için bir tahrik mekanizması da bulunur. İkisinin de tahrik mekanizması presin taç denilen üst kısmına montajlıdır. Şekillendirme prosesinden sonra, panelin bir sonraki operasyon için döndürülmesi gerekebilir. Bu durumda çift etkili prese paneli döndürmek amacı ile bir takım sistemler

yapmak zorunluluğu doğar. Çift etkili çekme operasyonlarında (şekil 3.15), presin çekme zımbasının hareketi ve baskı plakasının hareketi olmak üzere iki hareketi vardır. Baskı plakası aracılığıyla kuvvet açınımına ve kalıba iletilir. Kalıp ve çıkarıcı presin alt tablasına yerleştirilir. Baskı plakası sayesinde sac parçanın kalıp içine akması kontrollü bir şekilde gerçekleşirken aynı zamanda baskı plakasının kuvvet uyguladığı alanda meydana gelebilecek kırışmalarda önlenmiş olur.

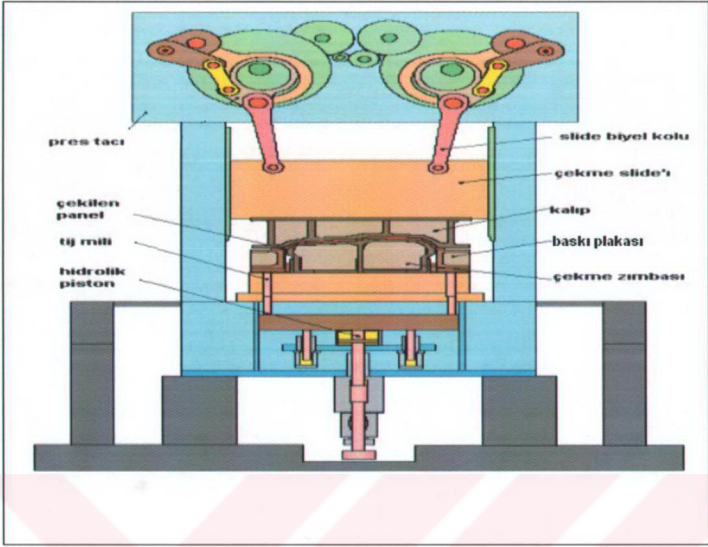


Şekil 3.14 Çift etkili pres

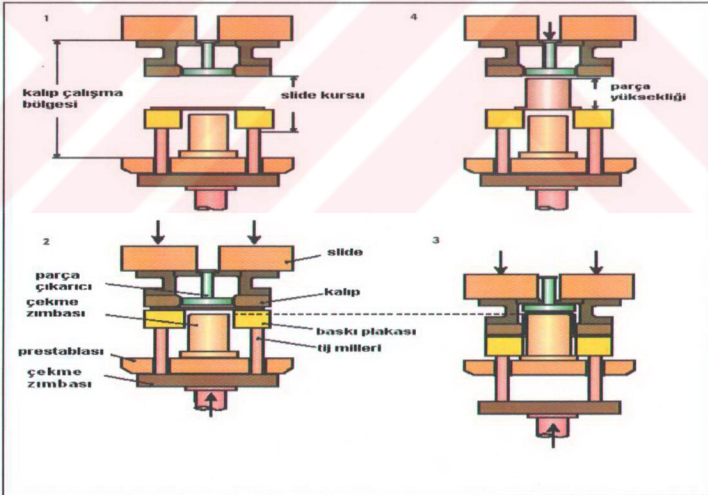


Şekil 3.15 Çift etkili çekme kalıbı

Tek etkili çekme kalıbında (şekil 3.16 ve 3.17), şekillendirme kuvveti presin pistonu üzerinde yer alan pres tablasının tij milleri vasıtasıyla baskı plakasına ve zımbaya iletilmesi vasıtasıyla olur. Pistonun verdiği güç ile zımba paneli kalıp içine doğru iterek şekillendirme sağlanır.



Şekil 3.16 Tek etkili çekme presi



Şekil 3.17 Tek etkili çekme kalıbı

4. MALZEME BİLGİSİ

4.1. Giriş :

Endüstriyel veya mühendislik malzemeleri; metaller, seramikler, polimerler ve kompozitler olmak üzere dört gruba ayrılırlar (Bozdoğan 1995).

a. Metaller :

Çelik, dökme demir, Al, Mg, Zn, Ti, Cu, ve Ni gibi daha birçok malzemeyi içine alan metaller ve alaşımlar genel olarak; elektrik ve ısı iletkenliği iyi, oldukça yüksek mukavemet, yüksek tokluk, yüksek süneklik veya şekil alabilme ve şok dayanımı gibi yüksek karakteristiklere sahiptirler. Bu malzemeler bu özelliklerinden dolayı özellikle yapı ve yük taşıma uygulamalarında oldukça kullanışlıdır. Ancak metaller düşük korozyon ve oksidasyon direncine sahip olduklarından, korozif bir ortamda kullanımı oldukça zordur. Saf metallerin nadiren kullanılmasına rağmen, istenilen özelliğin artırılması ve daha iyi özellik vermesi nedeni ile metallerin kombinasyonundan oluşan alaşımlar daha çok kullanılmaktadırlar.

b. Seramikler :

Tuğla, cam, aşındırıcılar ve refraktörler (ısı direnci yüksek malzeme) gibi maddeleri içine alan seramikler; çok düşük elektriksel ve ısı iletkenliğe (süper iletkenler istisna), yüksek sertlik ve mukavemete, yüksek korozyon ve oksidasyon direncine ve yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemelerdir. Dolayısıyla bu tür malzemeler ısı ve elektrik iletimlerinin düşük olmasından dolayı genellikle yalıtım malzemesi olarak ve yüksek korozyon (oksidasyon) dirençlerinden ve yüksek ergime sıcaklıklarından dolayı korozif ortamlarda ve yüksek sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Fakat seramik malzemeler çok sert ve çok kırılğan olduklarından darbe toklukları oldukça düşük ve şekillendirme kabiliyetleri hemen hemen yoktur. Ancak seramiklerin yük taşıyıcı uygulamalarda kullanımını sağlamak amacıyla yeni prosesler ve teknikler geliştirilmektedir (türbin motor iticileri veya sürücüler). Ayrıca seramik

malzemeler fiber-optik sistemlerde ve enetgre devrelerde kullanım imkanı veren birçok olağanüstü optik ve elektrik özelliklere sahiptirler.

c. Polimerler :

Bu sınıf malzemeler; plastikler, lastik ve bir çok yapıştırıcıyı da içine alan bir malzeme grubudur. Bu malzemeler polimerizasyon prosesi olarak bilinen bir proses ile organik moleküllerinden geniş uzun zincir molekülleri şeklinde bağlanması ile üretilirler. Polimerler düşük ısı ve elektrik iletkenliğine, düşük mukavemete, düşük ergime sıcaklığına ve yüksek korozyon ve oksidasyon direncine sahiptirler. Bu grup malzemeler, moleküllerin dizinimi ve bağ yapılarına göre termoplastik ve termoset plastikler olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Termoplastik polimerlerde uzun zincir molekülleri rijit bir şekilde temas etmediğinden iyi bir süneklikleri ve şekil alma özellikleri vardır. Ayrıca bu sınıf malzemelerin hurdaları geri dönüşümlü olarak kullanılabilir (örneğin naylon). Termoset polimerlerde ise uzun zincir molekülleri rijit bir şekilde temas etmekte olup, kuvvetli fakat daha fazla kırılmalı bir yapıya sahiptirler. Bu yüzden termoset plastikler ısıtılarak yeniden şekillendirilemeyip, hurdaları geri dönüşümsüzdür (örneğin bakalit). Polimer esaslı malzemeler günlük hayatımızda geniş bir kullanım alanına sahip olduğu gibi, elektronik araç ve gereçlerde de yaygın kullanıma sahiptirler (elektronik sanayiinde devre elemanları gibi).

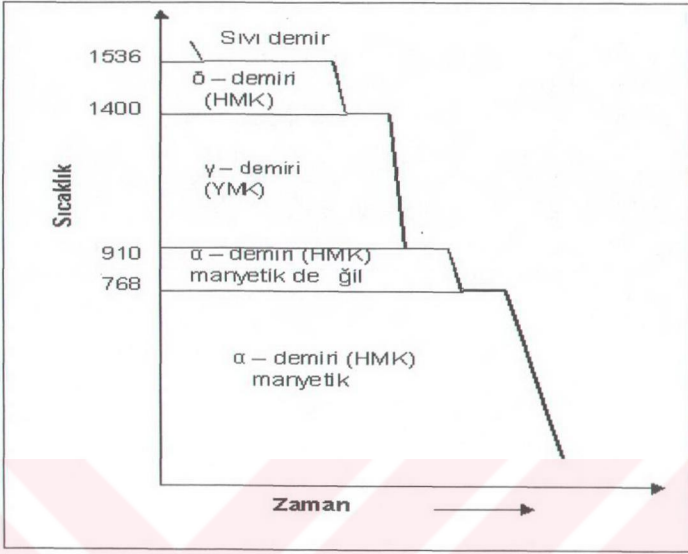
d. Kompozit Malzemeler :

Bir tek malzemeden elde edilemeyen özellikleri sağlamak amacı ile iki veya daha fazla malzemenin karışımından üretilen malzemelere kompozit malzemeler denir. Betonarme, emaye, formika, araba lastiği ve fiberglas gibi malzemeler tipik örnekleridir. Kompozit malzeme ile birlikte hafif, kuvvetli, sünek, yüksek sıcaklığa dayanıklı gibi tek bir malzemede elde edilemeyen özellikler veya sert ve şok dayanımı olan kesici takımlar gibi malzemeler üretilebilir. İleri teknolojiye özellikle uçak ve uzay araçlarında önemli ölçüde kompozit malzemeler kullanılmaktadır (örneğin karbon-fiberle güçlendirilmiş polimer malzemeler gibi).

Ayrıca, Si, Ga ve GaAs gibi elementler ve bileşikler çok kırılğan olmasına rağmen bilgisayar, elektronik ve iletişim uygulamaları için çok gerekli malzemelerdir. Bu malzemelerin elektrik iletkenlikleri kontrol edilerek transisto, diyot ve entegre devreler yapılmaktadır. Bilgiler fiber optik sistemi içinden ışık şeklinde taşınmaktadır. Yarı iletken malzemeler bu uygulamada elektrik sinyallerini ışığa ve ışığı da elektrik sinyallerine çevirdiğinden bu sistemlerin çok önemli parçalarıdır (örneğin bir elektronik mikro devredeki silikon çip).

Demir, pek çok mühendislik alaşımının temelini oluşturan bir metaldir. Külçe demir olarak bilinen ve hemen hemen saf durumdaki demir, çatı, kanalizasyon, soba ve kokil kalıp yapımı gibi bazı uygulamalarda kullanılır. Tipik bir külçe demir yaklaşık % 0,012 C, % 0,017 Mn, % 0,005 P, % 0,025 S ve çok az miktarda Si içerir. Saf demirin çekme dayanımı 276 Mpa, kopma uzaması % 40 civarındadır. Ancak, saf demirin sertlik ve mukavemeti pek çok uygulama için yeterli değildir.

Demir alotropik bir metaldir, yani kafes yapısı sıcaklığa göre değişir. Bu durum, demirin şekil 4.1 de verilen soğuma eğrisinden görülmektedir. Üç türlü alotropik değişim gösteren demir, belirli sıcaklık aralıklarında kararlı bir durum sergiler.



Şekil 4.1 Saf demirin soğuma eğrisi-demirin allotropisi (Savaşkan 2000)

Karbon, alotropik değişim gösteren demir içerisinde çözünerek farklı ara yer katı çözeltileri oluşturur. Katı çözeltili dışında kalan tüm karbonun demirle bir ara yer bileşiği (Fe_3C) oluşturmasına veya tamamen serbest yani grafit (C) halinde bulunmasına göre, ya demir (Fe) – sementit (Fe_3C) ya da demir – grafit faz diyagramı söz konusu olur. Bu faz diyagramlarından, çelik ve dökme demirlerin incelenmesinde büyük ölçüde yararlanır.

4.2. Şekillendirilebilir Sac Seçim Kriterleri

Çelik sac seçimi, mevcut sınıf veya kalitenin deformasyon analizi ve biçimlendirme eğrilerinden belirlenen şekillendirme şartlarının anlaşılmasına bağlıdır. Levhalar arasındaki ön elemeyi yayınlanmış olan malzemelerin mekanik özelliklerinden ve şekillendirilebilirlik sınır diyagramlarından yapabiliriz. Bu konuda tam bir inceleme için tüm mekanik ve şekillendirilebilirlik testlerin yapılması gereklidir. Prototip ünitelerde yapılan testlerde üretimde neler olabileceği hakkında fikir verecektir.

Aşağıdaki faktörler çelik seçimindeki kriterler olarak verilebilir :

- Parçanın amacı ve servis gereksinimleri,
- Levha kalınlığı ve toleransları,
- Şekillendirme için boşlukların boyutu ve şekli,
- Şekillendirme için elde bulunan ekipmanlar,
- Miktar gereksinimi,
- Levha yada rulo için el ekipmanı,
- Levha ürüne ulaşılabilirlik,
- Çelik sacın yüzey kalitesi,
- Özel yüzey işlemleri veya kaplamalar,
- Şekillendirmede yapılması gerekenler ve beklentiler,
- Yaşlanma eğilimi ve kullanımdan önceki bekleme süresiyle ilişkisi,
- Gelen levhanın mukavemeti,
- Deformasyona uğramış bölgenin mukavemeti,
- Alternatif malzemeler.

Bu faktörler üretici firma tarafından temin edilir ve kullanıcı tarafından karar verilmesinde dikkat edilmesi gereken hususlardır. Bazı bölgeler için mekanik özelliklerin yüksek olması açısından özel olarak üretilmiş düşük karbonlu saclar kullanılırken diğer önemsiz bölgeler için sıcak yada soğuk hadde ürünleri kullanılabilir. Uygun malzeme seçimi için alternatif malzemelerde incelenmelidir. Tüm hesaplamalar yapıldıktan sonra performans ve maliyet açısından malzemeler karşılaştırılmalıdır. Bu karşılaştırmada maliyet ikinci planda tutulmalıdır. Kalitesiz malzeme kullanımıyla oluşabilecek hasarlar,

malzeme kayıpları ve ekipman deformasyonları çok daha büyük mali kayıplara neden olabilir ya da örneğin iki kademede yapılacak şekillendirme işlemi tek kademede yapılarak üretim sırasında kara geçilebilir.

4.3. Malzemenin Kimyasal Bileşiminin Şekillendirmeye Etkisi

Şekillendirme işlemi gerektiren parçalar için daha çok düşük karbonlu çelikler kullanılır. Bu tür çelikler genellikle % 0,15 ' den az karbon ve kalıntı elementlerle birlikte toplam % 1 den az alaşım elementi içerirler. Bazı yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler daha fazla karbon ve diğer alaşım elementleri içerirler. Ana alaşım elementi olarak manganez miktarı % 0,20 – 0,60 arasında değişir. Deokside edici veya daha özel amaçlar için kontrollü olarak silisyum, niyobyum, titanyum, yada alüminyum ilave edilebilir. Kükürt, krom, nikel, molibden, bakır, azot ve fosfor gibi çeliğin kalitesini belirleyen kalıntı elementler çelik üretimi sırasında mümkün olduğunca aşağıya çekilmelidir. Alaşımlı çelikler (bunlara yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerde dahildir) bu elementleri belirli miktarda içerirler(Savaskan 2000 ve Gündü 2000).

4.3.1. Karbon Etkisi :

Karbon, çeliğin yapısal ve mekanik özelliklerini en fazla etkileyen alaşım elementidir. Karbon oranı arttıkça çeliğin sertlik ve mukavemeti artmakta, buna karşılık sünekliliği düşer. Bu durum, çelikteki sementit oranının artan karbon oranı ile artmasından kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ferit yapısındaki karbür fazının oluşumu ve ince tane boyutunun oluşumudur. Genellikle karbon miktarı % 0,10 ile sınırlıdır ve biçimlendirme kabiliyetini arttırmak için daha da azaltmak gerekir. Karbonun, çeliğin genel özelliklerine etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Çeliğin ergime sıcaklığını ve ostenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür,
- Çeliğin sertliği ile akma ve çekme dayanımlarını yükseltir, ancak kopma uzaması ile kopma büzülmesini azaltır,
- Çeliğe sertleşme yeteneği kazandırır,

- Çeliğin ısı geçirgenliğini ve özgül ağırlığını azaltır,
- Çeliğin kaynak edilebilme kabiliyetini kısıtlar.

4.3.2. Manganez Etkisi :

Bütün ticari alaşımsız çeliklerde % 0,03 ile % 1 oranları arasında manganez bulunur. Çeliğin yüksek sıcaklıkta çalışma karakteristiğini yükseltir ve belirlenen tane boyutuna erişmeyi kolaylaştırır. Ayrıca sülfürün kötü etkisini gidermek için, özellikle yüksek sıcaklıklar için, biraz manganez gereklidir. Düşük karbonlu çelik levhalar için manganez miktarı % 0,2 – 0,6 arasında değişir. Çelikte, MnS oluşturmak için gerekli miktardan daha fazla Mn varsa, fazlalık mangan karbon ile reaksiyona girerek mangan karbür (Mn_3C) oluşturur. Mn iyi bir oksijen alıcı (deoksidan) olduğundan çelik dökümlerin kalitesini iyileştirir. Malzemede sülfür miktarı az ise manganez miktarı da azaltılabilir ve böylece plastik deformasyon oranı değerinde artış görülür.

4.3.3. Titanyum Etkisi :

Nitrat formunda mukavemetli bir fazdır. R değerini artırır ve akma uzamasını engeller. Soğuk çekilmiş çeliklerde yaşlandırma işleminde kullanılır. Titanyumun yüzey görünümüne kötü etkisi vardır.

4.3.4. Alüminyum Etkisi :

Çeliklerin söndürülme işleminde kullanılır. Oksijen ve azotu bağlayarak ergimiş çelikte gaz çıkışını engeller. Ayrıca soğuk çekilmiş çeliklerde R değerini arttırmada kullanılır. American Society for Testing and Materials deki (ASTM 7) gibi uzatılmış tane boyutlarına iyi yapılmış bir alüminyum söndürme işlemiyle ulaşılabilir. Azot alüminyumla tutulduğu için dislokasyon ya da tane sınırlarında birikmez ve malzeme deformasyon yaşanmasına maruz kalmaz.

4.3.5. Azot Etkisi :

Düşük karbonlu çelikler için bariz sertleştirme sağlar. Aynı zamanda deformasyon yaşanmasına da yol açar. Azotun etkisi alüminyum ilavesi ile giderilebilir.

4.3.6. Seryum ve Diğer Azınlık Elementlerin Etkisi :

Mangan ve sülfür inklüzyonlarının şeklini iğnesel yapıdan küresel yapıya doğru dönüştürülmesini sağlamak için eklenebilir. Küresel yapılar biçimlendirmede çatlama riskini azaltır.

4.3.7. Oksijen Etkisi :

Miktarı ingottaki metalin katılma karakteristiğini belirler. Fazla miktarda oksijen nitrat formunu engeller ve böylece deformasyon yaşanmasını düşürmek için katılan alaşım elementlerinin gerekliliğini azaltır. Silisyum, alüminyum ve titanyum gibi deoksidasyon elementleri oksijen miktarını kontrol ederler. Oksijen bu deoksidanlarla birleştiği zaman kompleks yapıda metalik olmayan yapılar oluşur. Çoğu metalik olmayan yapı cürufu toplanır, fakat çelik içine kaçanlar uniform tane boyutunu yakalamada engel oluştururlar.

4.3.8. Kükürt Etkisi :

Ticari çeliklerde kükürt oranı genelde % 0,05'in altında tutulur. Kükürt demir ile birleşerek demir sülfür (FeS) bileşiğini oluşturur. Demir sülfür bileşiği de demir ile birlikte ergime noktası düşük olan bir ötektik alaşım meydana getirir. Bu alaşım, daha çok çeliğin tane sınırlarında toplanır. Kükürt içeren çelik, sıcak dövme veya haddeleme işlemine tabi tutulduğunda tane sınırlarında bulunan ötektik alaşım ergir. Söz konusu alaşımın ergimesiyle taneler arasındaki bağlar kopar ve çelikte çatlama meydana gelir.

Çelikte mangan bulunması durumunda kükürt mangan ile mangan sülfür (MnS) oluşturur. Yani FeS yerine MnS oluşur. MnS'ün büyük bir bölümü cürufu toplanırken, bir kısmı da MnS kalıntıları olarak yapı içerisinde dağılır. Mangan oranının, kükürt oranının 2 ile 8 katı arasında olması tercih edilir. Bazı çeliklerin

işlenme kabiliyetini iyileştirmek için kükürt oranı % 0,08 ile % 0,35 arasındaki bir değere kadar artırılabilir. Çünkü kükürt oranının artırılması talaşlı işlemi kolaylaştırarak takımın aşınmasını önler. Ayrıca, kükürt çeliğin darbe dayanımını azaltır ve kaynak edilmesini zorlaştırır.

4.3.9. Fosfor Etkisi :

Çeliklerde fosfor oranı genelde % 0,04 değerinin altında tutulur. Düşük oranlardaki fosfor ferrit içerisinde çözünerek, çeliğin mukavemet ve sertliğini bir miktar artırırlar. Bazı çeliklerin kesme özelliklerini iyileştirmek için fosfor oranları % 0,07 ile % 0,12 arasında tutulur. Ancak, yüksek oranlardaki fosfor, çeliklerin sünekliğini azalttığından soğuk şekillendirme sırasında bu malzemelerin çatlamalarına veya kırılmalarına neden olabilir. Bu olaya da soğuk yirtılma denir.

4.3.10. Silisyum Etkisi :

Ticari çeliklerin çoğu % 0,05 ile % 0,3 oranları arasında Si içerir. Si ferrit içinde çözünerek çeliğin sünekliğini fazla azaltmadan mukavemetini artırır. Ayrıca, silisyum dioksit (SiO_2) oluşturarak sıvı çeliğin oksijenini büyük ölçüde alır ve böylece çeliğin kalitesini iyileştirir. Si, dökme demirlerde grafit yapıcı bir element olarak da kullanılır. Si miktarı üretim sırasındaki deoksidasyon pratiğine bağlıdır. Kaynar çeliklerde genelde % 0,10'dan azdır. Söndürme işlemi için alüminyum yerine silisyum kullanılırsa % 0,4'e kadar artabilir. Si varlığı eğme sırasında çatlama riskini arttıran silikat inklüzyonlarının oluşmasına yol açar. Son olarak Si çelik mukavemetini artırarak şekillendirilme kabiliyetini düşürür.

4.3.11. Krom, Nikel, Molibden, Vanadyum Etkisi :

Bunlar ve diğer alaşım elementleri düşük karbonlu çelik içinde kalıntı element olarak bulunur. Bu elementler mukavemeti artırıp şekillendirilme kabiliyetini düşürür, bu nedenle çelik üretimi sırasında minimum seviyede tutulmalıdır.

4.3.12. Bakır Etkisi :

Genellikle zararsız kalıntı element olarak kabul edilirler. % 0,1 den daha az bakır oranı için sertleşme miktarı gözardı edilebilir. Bakır çeliğe % 0,2 oranında fazlalık olarak atmosferik korozyona direnç için ilave edilir.

4.3.13. Niobyum Etkisi :

Niobyum karbür ve niobyum nitratlar yüksek mukavemet-düşük alaşım çeliklerin mukavemetini arttırmada kullanılır. Bu element tek başına ya da titanyumla birlikte arayer atomu içermeyen çeliklerde plastik anizotropi değerini arttırmada kullanılır. Bu alaşım elementi karbon ve azot gibi kalıntı elementleri uzaklaştırarak akma uzamasının görülmemesini sağlar.

4.4. Çelikler

Çelik ve dökme demirlerin kimyasal bileşim ve özelliklerine göre kısa gösterilişleri TS 1111'de ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Çelik ergitme yöntemine göre T (thomas konverteri), O (oksijen konverteri), M (siemens-martin ocağı), E (elektrik ocağı) ve I (endüksiyon ocağı); döküm şekline göre de S (sakinleştirilmiş), S_y (yarı sakınleştirilmiş) ve K (kaynar dökülmüş) işaretleri ile gösterilirler.

4.4.1. Çeliklerin Sınıflandırılması

Çelikler genel olarak alaşımlı ve alaşımsız çelikler olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Savaşkan 2000). Alaşımsız çelikler, bileşimlerinde demir ve karbondan başka üst sınırları aşağıda verilen kimyasal elementleri içermeyen çeliklerdir. Bu üst değerler % 0.5 Si, % 1 Mn, % 0.1 Al, % 0.25 Cu, % 0.09 P ve % 0.06 S şeklinde sıralanabilir. Karbon oranı % 0.8 den az olanlar ötektoid altı, % 0.8 olanlara ötektoid ve % 0.8 den daha fazla olanlara da ötektoid üstü çelikler denir. Alaşımlı çeliklerde az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Alaşım elementi oranlarının toplamı % 5 den az olan çeliklere az alaşımlı çelikler, alaşım elementlerinin toplamı % 5 den daha fazla olan çeliklere de yüksek alaşımlı çelikler denir.

Karbon alaşım elemanı değildir. Çeliklerin özelliklerini iyileştirmek için içine molibden, vanadyum, volfram, krom, nikel, % 0.8 den daha fazla olmak üzere manganez ve % 0.4 den fazla olmak koşulu ile silisyum elemanlarından biri veya bir kaç katılarak alaşımlı çelikler elde edilir.

Çelikler, genel yapım çelikleri, makine yapım çelikleri, sementasyon çelikleri, nitrürasyon çelikleri, otomat çelikleri, valf çelikleri, ray çelikleri, sıfırlı çelikleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı çelikler, paslanmaz çelikler, rulman çelikleri, yay çelikleri ve takım çelikleri gibi pek çok sınıfa ayrılabilirler.

4.4.1.1. Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması :

Çelikler, içerdikleri karbon oranına göre düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler, yüksek karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu takım çelikleri olmak üzere başlıca dört sınıfa ayrılırlar.

a. Düşük Karbonlu Çelikler

Bu çelikler % 0,25 oranına kadar karbon içerirler ve çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

- Çok Yumuşak Çelikler : % 0,07 ile % 0,15 arasında karbon içerirler ve soğuk şekillendirmeye elverişlidirler.
- Yumuşak Çelikler : % 0,15 ile % 0,25 oranında karbon içerirler. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilirler, ancak su verme yöntemi ile sertleştirilemezler.

b. Orta Karbonlu Çelikler :

Bu çelikler % 0,25 ile % 0,55 oranları arasında karbon içerirler. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Yani bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısı ile büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu çelikler karbon oranlarına göre; genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılabilirler.

- Genel Dövme Çelikleri : % 0,25 ile % 0,35 oranında karbon içerirler.

- Mil Çelikleri : % 0,35 ile % 0,45 oranları arasında karbon içerirler. Mil, tel ve dingil yapımı gibi uygulamalarda kullanılır.
- Aşınmaya Karşı Dayanıklı Çelikler : % 0,45 ile % 0,55 arsında karbon içerirler. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıpların yapımında kullanılırlar.

c. Yüksek Karbonlu Çelikler :

% 0,55 ile % 0,9 arasında karbon içerirler. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanıma alanına örnek olarak pres kalıp blokları gösterilebilir.

d. Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri :

Bu çelikler % 0,9 ile % 1,6 oranları arasında karbon içerirler. Yüksek aşınma direnci ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım alanına örnek olarak torna kalemi ve matkap uçları verilebilir.

Çelikler seçilirken uygulandığı yere göre ya mekanik özellikleri ya da kimyasal bileşimleri dikkate alınarak gösterimleri yapılır.

I. Mekanik Özellikleri Esas Alınan Çeliklerin Gösterimleri :

Bunlar ısıtım işlem için öngörülmeyen çelikler olup, Fe işaretine ek olarak çekme dayanımının en düşük değeri ile tanımlanırlar. Örneğin çekme dayanımının en küçük değeri 37 kgf/mm² olan genel yapı çeliği Fe 37 şeklinde gösterilir.

II. Kimyasal Bileşimi Esas Alınan Çeliklerin Gösterimleri :

Bunlar alaşımlı ve alaşımsız çelikler olup, ısıtım işleme uygundur.

a. Alaşımsız Çelikler

C harfi ve ortalama yüzde karbon oranının 100 katı ile gösterilirler. Örneğin bileşiminde % 0,35 C bulunan alaşımsız ve sakınleştirilmiş oksijen

konverter çeliği OS C 35 şeklinde gösterilir. C işaretinden sonra gelen küçük harfler ise alaşımsız çeliğin türünü gösterir. Asal çelikler için k harfi eklenir. Örneğin ortalama karbon oranı % 0,45 olan alaşımsız asal çelik Ck 45 şeklinde gösterilir.

b. Alaşımlı Çelikler

Az Alaşımlı Çelikler : Bu tip çeliklerin gösteriminde C işareti kullanılmaz. Ortalama yüzde karbon oranınının 100 katı yazıldıktan sonra, oran sırasına göre alaşım elementlerinin simgeleri ve bu elementlerin aşağıdaki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir.

Alaşım Elemanları	Katsayı
Cr, Co, Mn, Si, W, Ni	4
Al, Be, Pb, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti, Zr, V	10
P, S, N, Ce	100
B	1000

Yüksek Alaşımlı Çelikler : Karbon miktarı az alaşımlı çeliklerdeki gibi yazılır. Yüksek alaşımlı çeliklerin gösterimi için en başta X harfi kullanılır. İkinci derece önemli alaşım elamanlarının miktarları gösterilmeyebilir.

4.5. Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemler

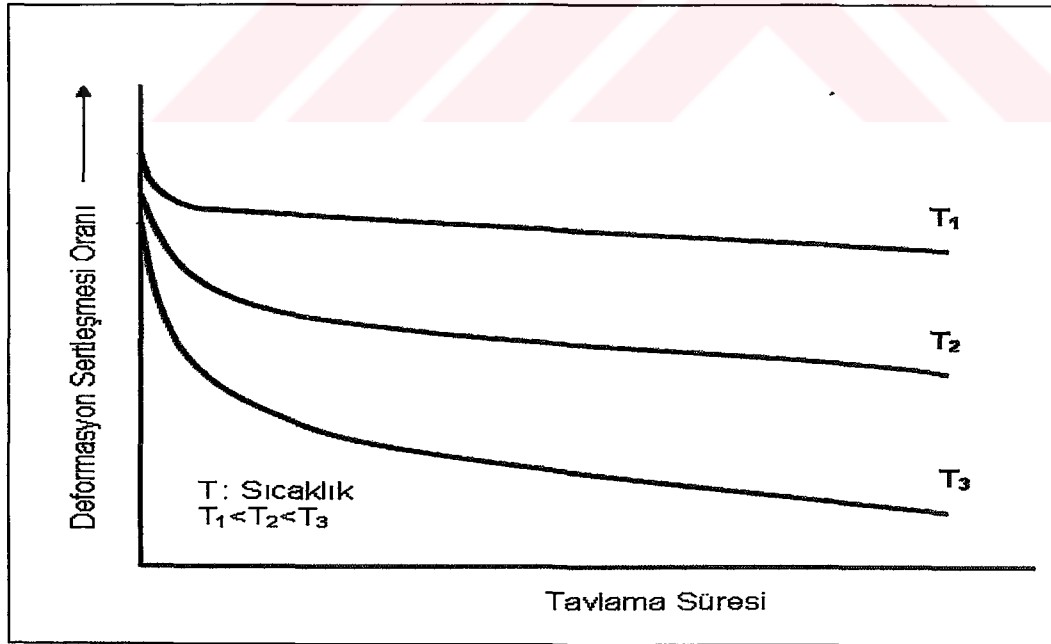
Genel anlamda ısı işlem, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Isıl işlemin Türk Standartlarındaki (TS 1112) tanımı ise, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir (Savaşkan 2000, Askeland 2000).

4.5.1. Tavlama ve Sıcak Şekil Değiştirme

Tavlama işlemi, soğuk şekil verme sonucunda distorsiyona uğrayan kafes veya tane yapısını gerilmesiz durumuna döndürmek için uygulanan bir ısıtma işlemidir. Bu işlemde malzeme, tavlama sıcaklığına kadar ısıtılır ve fırın içerisinde yavaşça soğutulur. Tavlama işlemi toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi olmak üzere üç devre yada aşamayı içerir.

4.5.1.1. Toparlanma :

Toparlanma, soğuk deforme edilen malzemelerde yeniden kristalleşme sıcaklığından daha düşük sıcaklıklardaki tavlama sırasında meydana gelir. Bu işlem sırasında malzemenin içi yapısında önemli bir değişim meydana gelmeden bazı özellikleri değişebilir. Toparlanma aşamasında, soğuk deforme edilen malzeme içerisindeki iç gerilmeler büyük ölçüde giderilir. Soğuk deformasyon sırasında malzemede oluşan deformasyon sertleşmesi ya da pekleşme oranı toparlanmanın başlangıç aşamasında hızlı bir şekilde azalır, ancak bu azalma oranı ilerleyen zaman içerisinde düşer. Bu durum Şekil 4.2 de görülmektedir.



Şekil 4.2 Üç ayrı tavlama sıcaklığında, deformasyon sertleşmesi oranının tavlama süresine göre değişimini gösteren eğriler (Savaşkan 2000)

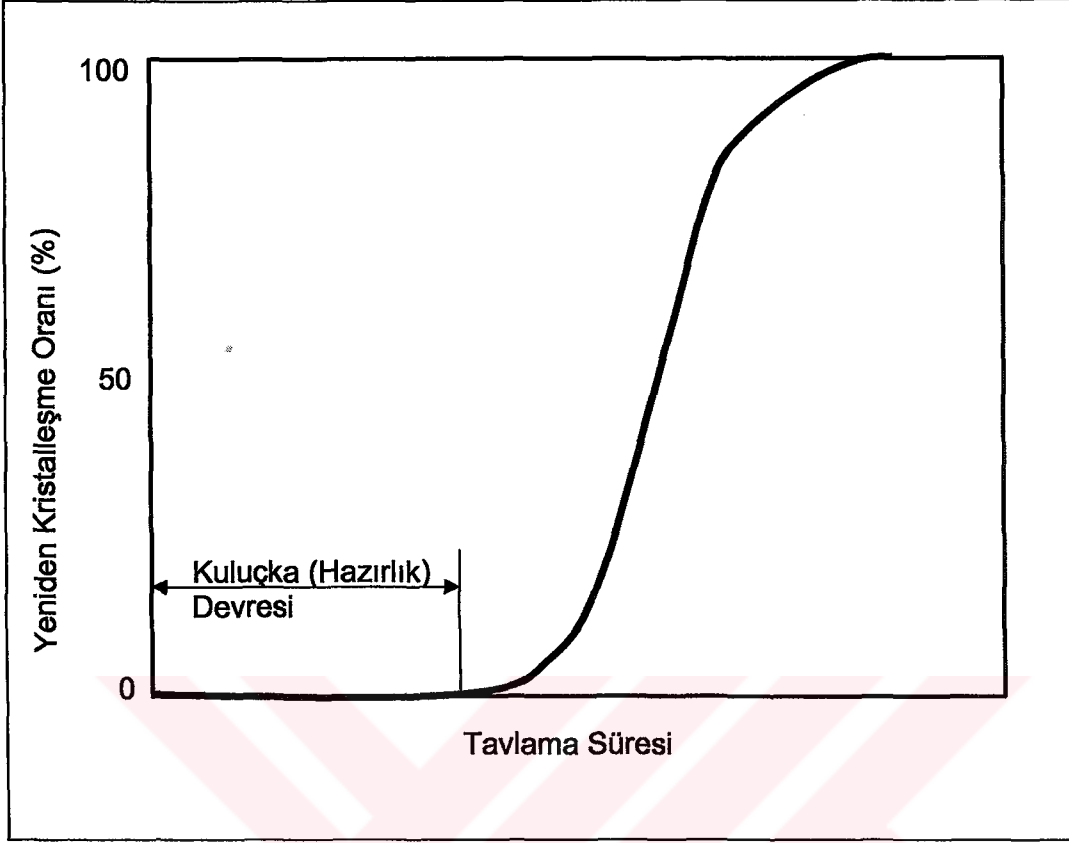
Toparlanma, dislokasyon sayısının azalmasından çok, dislokasyonların yeniden düzenlenmelerinden kaynaklanır. Dislokasyonların yeniden düzenlenmesi sonucunda oluşan alt tanelerin içinde dislokasyonsuz bölgeler meydana gelir. Bu bölgeler sayesinde elektron hareketi kolaylaşarak malzemenin elektrik iletkenliği eski değerine yaklaşabilir. Bu nedenle, toparlanma aşamasında malzemenin elektriksel iletkenliği önemli ölçüde artar. Bu devrede malzemenin mekanik özellikleri pek değişmez ancak kalıntı gerilmeler büyük ölçüde giderilir. Böylece kalıntı gerilmelerin oluşturduğu çarpılma en aza iner ve gerilmeli korozyon çatlama önlenir. Tavlama işleminin ilk aşaması olan toparlanma, piyasada gerilme giderme tavlama olarak da bilinir.

Gerilme giderme tavlama, kaynak ve soğuk şekil verme işlemlerinden kaynaklanan iç gerilmeleri azaltmak amacıyla, metalik malzemeleri dönüşüm sıcaklıklarının altındaki uygun bir sıcaklığa kadar ısıtma ve sonra yavaş soğutma işlemidir. Bu işlem bazen dönüşüm sıcaklığı altı veya kritik sıcaklık altı tavlama olarak da adlandırılır. Çelik malzemeler 540 C° ile 630 C° arasındaki sıcaklıklarda gerilme giderme tavlama tabii tutulurlar.

Ara tavlama ise, gerilme giderme tavlama çok benzeyen bir işlem olup, ötektoid altı çeliklerden sac ve tel yapımında soğuk şekillendirmeye devam edebilmek için bu çelik malzemelerin kritik dönüşüm sıcaklığının (750 C°) hemen altındaki bir sıcaklığa (550-680 C°) kadar ısıtılıp yeniden kristalleşme sağlandıktan sonra yavaş soğutulması işlemidir.

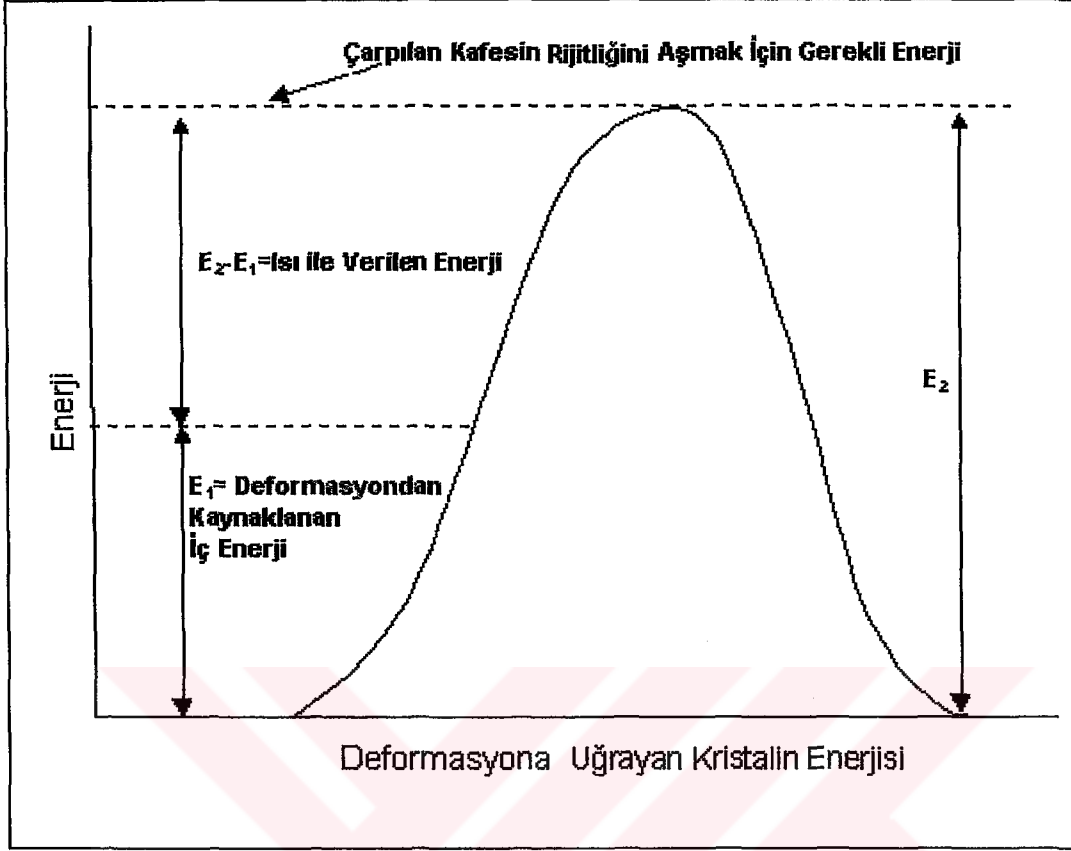
4.5.1.2. Yeniden Kristalleşme :

Toparlanma sıcaklık aralığının üst sınırına erişildiğinde iç yapıda yeni kristaller veya taneler oluşur. Bu taneler, genelde orijinal tanelerin en fazla deformasyona uğrayan bölgelerinde (tane sınırları ve kayma düzlemleri) meydana gelir. Yeni taneler, deformasyona uğrayan orijinal tanelerle aynı kimyasal bileşim ve kafes yapısına sahiptir. Yeniden kristalleşme, çekirdeklenme ve büyüme mekanizmaları ile meydana gelir (şekil 4.3).



Şekil 4.3 Sabit sıcaklıkta elde edilen yeniden kristalleşme eğrisi

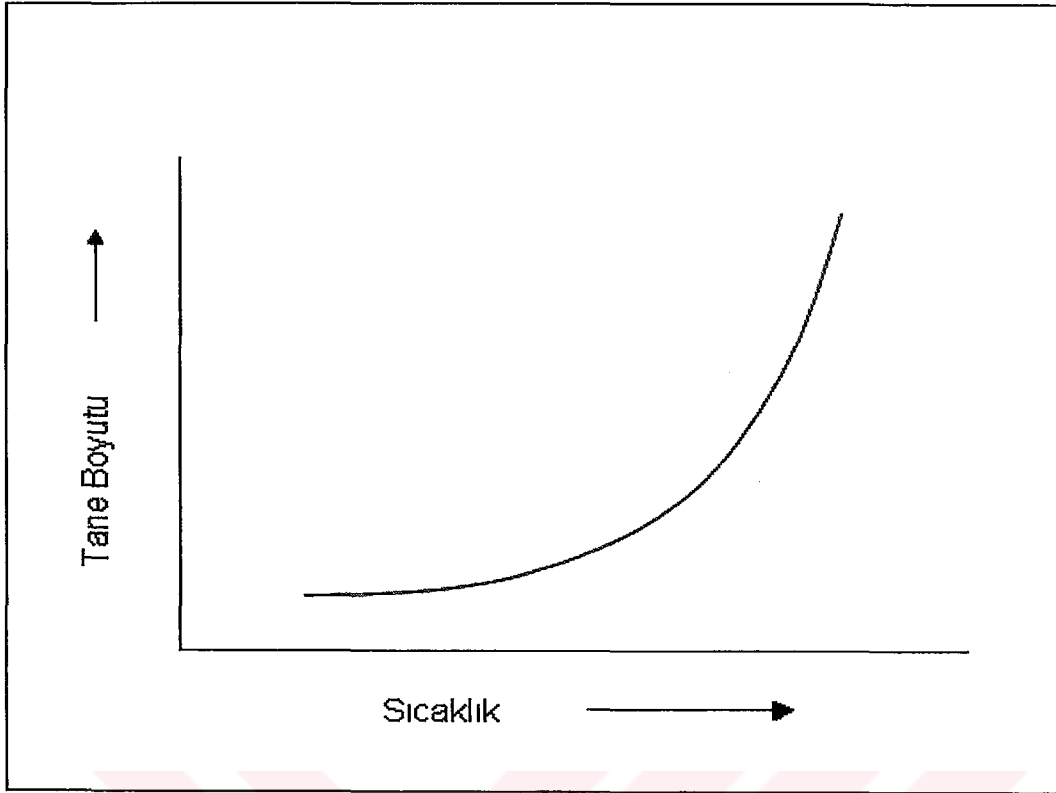
Hazırlık (kuluçka) devresinde yeniden kristalleşmenin başlaması için gerekli enerji depo edilir. Kritik embriyon boyutunun üzerine çıkılınca yeniden kristalleşme başlar. Kuluçka dönemi, embriyonlardaki tersinir olmayan büyüme süresine karşılık gelir. Yeniden kristalleşmenin oluşumu şekil 4.4 de görülmektedir.



Şekil 4.4 Yeniden kristalleşmenin oluşumu

4.5.1.3. Tane Büyümesi :

Malzemelerdeki iri taneler, ince tanelerden daha düşük serbest enerjiye sahiptir. Bu durum çok kristalli malzemelerde tane sınırı miktarındaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ideal koşullarda tek kristal halinde bulunan bir metal en düşük serbest enerjiye sahip olur. İri ve ince tanelerin serbest enerjileri arasındaki fark, tane büyümesi için gerekli itici gücü veya sürücü kuvveti oluşturur ve kafesin rijitliği (atomlar arasındaki bağ kuvveti) bu kuvvete karşı koyar. Sıcaklık arttıkça kafesin rijitliği azalır ve tane büyüme hızı artar. Belirli bir sıcaklıkta, sürücü kuvvetle kafes rijitliğinin dengede olduğu noktada, tane büyüklüğü en yüksek değerine ulaşır. Sıcaklığın, yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisi şekil 4.5 de görülmektedir.



Şekil 4.5 Sıcaklığın yeniden kristalleşme ile oluşan tanelerin büyüklüğüne etkisi

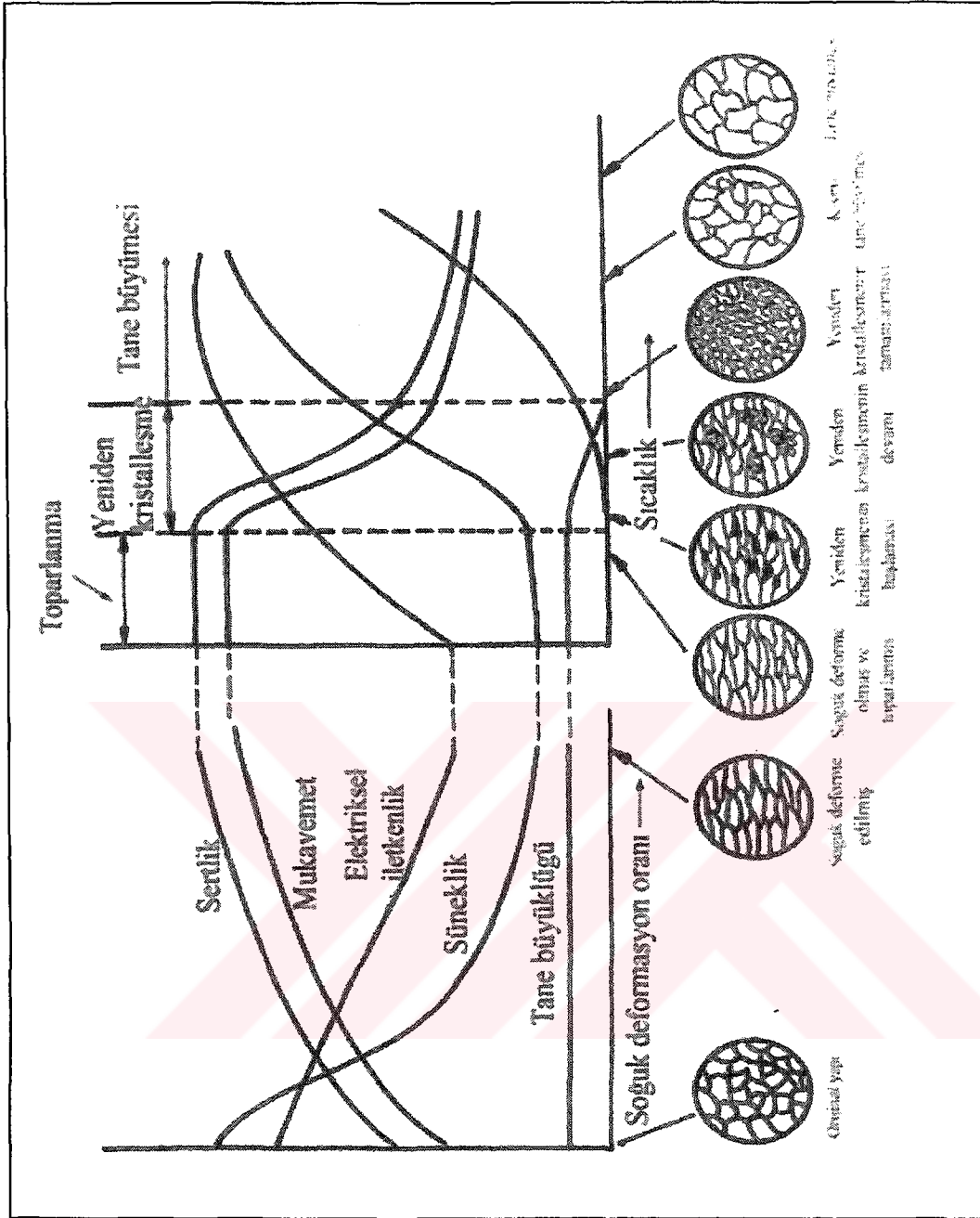
Tavlama sıcaklığı ile yeniden kristalleşme sıcaklığı arasındaki fark arttıkça, oluşan tanelerin boyutuda artar. Diğer taraftan tavlama sıcaklığına kadar ısıtma ve tutma süresi ne kadar azalır, tanelerde o ölçüde incelir. Malzeme yavaş ısıtılırsa birkaç tane çekirdek oluşur ve büyüme hızı artarak iri taneli bir yapı elde edilir.

Tavlama işleminin soğuk deforme edilen malzemenin özelliklerine etkisi şekilde verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi soğuk deformasyon nedeni ile malzeme özelliklerinde meydana gelen değişimler tavlama işlemi sonucunda tamamen giderilmekte ve malzeme orijinal özelliklerini yeniden kazanmaktadır. Bu nedenle, tavlama sırasında malzemenin sertlik ve mukavemeti azalırken, süneklik ve elektriksel iletkenliği artmaktadır.

Plastik şekil değişimine uğrayan bir malzemenin sertliği genelde artar, ancak deformasyon sertleşmesi hızı artan sıcaklıkla azalır. Yüksek sıcaklıkta plastik şekil değişimine uğrayan bir malzemede, aynı zamanda birbirine ters iki

olay meydana gelir. Bunlardan birisi plastik şekil değişimi nedeni ile meydana gelen sertleşme, diğeri de yeniden kristalleşme ile ortaya çıkan yumuşamadır. Belirli bir şekil değiştirme hızı için sertleşme ve yumuşama etkilerinin birbirini dengelediği bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen şekil değişimine sıcak şekil değiştirme, altındaki sıcaklıklarda meydana gelen deformasyona da soğuk şekil değiştirme denilir. Sıcak ve soğuk şekil değiştirme kavramları malzemeye bağlıdır. Şöyle ki, yeniden kristalleşme sıcaklığı oda sıcaklığından düşük olan kurşun, kalay ve çinko oda sıcaklığında sıcak deformasyona uğrarlarken, yeniden kristalleşme sıcaklığı yüksek olan çeliğe 540 C⁰ sıcaklıkta uygulanan biçimlendirme işlemine soğuk şekil verme işlemi denilir.

Metal külçelerden sac, levha, köşebent, profil, boru ve çubuk gibi ürünlerin elde edilmesi için uygulanan en ekonomik yöntem sıcak şekil verme işlemidir. Ancak, sıcak şekil verme esnasında çelik malzeme oksijenle reaksiyona girer ve oda sıcaklığına soğutulduğunda yüzeyinde tufal adı verilen siyah bir oksit tabakası oluşur. Oluşan bu tufal tabakası, hem talaşlı hem de talaşsız işlemler sırasında bazı zorluklara neden olabilir. Ayrıca, sıcak şekil verme işlemleriyle biçimlendirilebilen bir malzemede istenilen boyutları tam olarak elde etmek mümkün değildir. Çünkü sıcak şekillendirilen malzemede soğuma sırasında boyutsal değişimler meydana gelir. Diğer taraftan soğuk şekil verme işlemi ile istenilen ölçülere yakın boyutlar elde edilebilir ve bu işlem sırasında malzemede tufal oluşmaz. Ancak şekil değişimi için daha fazla kuvvet uygulamak ve dolayısıyla fazla enerji harcamak gerekir. Bu nedenle, soğuk şekil verme işlemi daha pahalı bir yöntemdir. Metal endüstrisinde her iki işlemin üstünlüklerinden yararlanmak için malzeme önce sıcak şekil değiştirme işlemine tabi tutulur ve ardından soğuk şekil verme işlemleri uygulanır(Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Soğuk Şekil Değiştirme ve Ardından Uygulanan Tavlama İşleminin Malzemenin Özelliklerine Etkisi

4.5.1.4. Menevişleme :

Çeliklerde su verme işlemi ile elde edilen martenzitik yapı sert ve gevrektrir. Gevrek malzemeler pek çok mühendislik uygulaması için elverişli değildir. Ayrıca, martenzit oluşumu çelik içerisinde iç gerilmelerin oluşmasına da yol açar. Bu nedenlerden dolayı, su verilen çelikler hemen hemen her zaman

kritik sıcaklık çizgisinin (750 C^0) altındaki sıcaklıklarda tavlanylabilir. Su verilen çeliklerin gevrekliğini gidermek veya tokluğunu artırmak amacıyla kritik sıcaklık çizgisinin altındaki sıcaklıklarda uygulanan tavlama işlemine menevişleme denir. Bu işlem, çelik parçanın belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, o sıcaklıkta belirli bir süre tutulduktan sonra soğutulması şeklinde uygulanır. Menevişlemenin amacı, su verilen çelikteki kalıntı gerilmeleri gidermek ve çeliğin süneklik ve tokluğunu artırmaktır. Su verilen çelikler menevişlendiklerinde sünek hale gelirler, buna karşılık sertlik ve mukavemetleri azalır.

Genel olarak, menevişleme sıcaklığı arttıkça sertlik düşer, tokluk artar. Bu durum, kopma uzaması veya kopma büzülmesi tokluk ölçüsü olarak alındığı takdirde doğrudur.

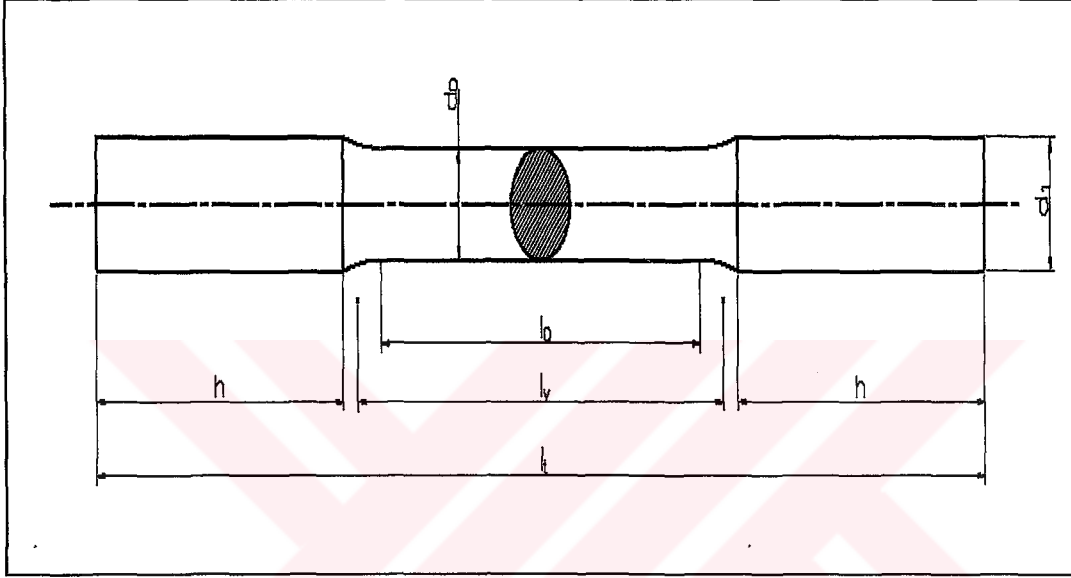
4.6. Çekme Deneyi

4.6.1. Deneyin Amacı :

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması amacıyla yapılır. Bu deney sonucunda elde edilen veriler doğrudan mühendislik hesaplarında kullanılır ve elde edilen bilgilerin çok geniş olmasından ve bu testin kolayca uygulanabilmesinden dolayı yaygın olarak kullanılan tahribatlı malzeme muayenesi yöntemlerinden biridir. Bu deneyden mukavemet değerleri olarak; akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve kopma mukavemeti elde edilir. Rijitlik adına; elastisite modülü ve rezilyans (malzemenin elastik şekil değiştirme sırasında depoladığı enerji= $\sigma-\epsilon$ eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan) tayin edilirken süneklik adına; % kesit daralması ve % uzama veya deformasyon miktarları hesaplanabilir. Çekme deneyi ile ayrıca malzemenin mukavemet ve sünekliğinin bir kombinasyonu olan enerji absorbe etme kabiliyetini tanımlayan tokluk değeri de elde edilir.

4.6.2. Deneyin yapılışı :

Çekme deneyi, ilgili standartlara göre hazırlanan deney örneklerinin tek ekseninde, sabit bir hızla ve artan bir kuvvetle koparıncaya kadar çekilmesi işlemidir. Bunun için, önce incelenmesi istenen malzemeden talaşlı işleme standartlara uygun örnekler hazırlanır. Şekil 4.7 da daire kesitli silindirik başlı bir çekme örneği görülmektedir(Bozdoğan 1995).



Şekil 4.7 Çekme deney numunesi

Bu şekilde d_0 örneğin çapını, d_1 baş kısmının çapını ($1.2 d_0$), l_v inceltilmiş kısmın uzunluğunu (l_0+d_0), l_0 ölçü uzunluğunu ($5 d_0$), h baş kısmının uzunluğunu ve l_t örneğin toplam uzunluğunu göstermektedir.

d_0 : parçanın çapı = 12 mm.

$d_1 = 1.2 d_0$

l_v : inceltilmiş kısmın uzunluğu (l_0+d_0)

l_0 : ölçü uzunluğu ($5d_0$) = 60 mm.

h : baş kısmının uzunluğu

l_t : toplam uzunluk

Hazırlanan örnek, çekme makinesinin çenelerine takılarak deney yapılır. Deney sırasında, çekme örneğine sürekli olarak artan çekme kuvveti uygulanarak, örnekte kırılıncaya kadar meydana gelen uzama kaydedilir.

Çekme testi sonuçları çizelge 4.1'de verilmiş ve şekil 4.8'de ölçü boyunun yüke bağlı değişimi gösterilmiştir. Bu yolla, test sonuçlarını göstermek sadece belli bir çapa sahip bir malzemenin nasıl davranacağını belirler. Verilen miktar uzamayı (gerinimi) sağlamak için gerekli kuvvet, büyük çaplı numune kullanıldığında, daha fazladır.

Çizelge 4.1 Çekme testi sonuçları (Askeland 2000.)

12.5 mm. çapında alüminyum alaşımı test çubuğundan elde edilmiş yük-ölçü boyu verileri	
YÜK (kN)	ÖLÇÜ BOYU (mm)
0	50.00
4.5	50.02
13.4	50.07
22.3	50.13
31.2	50.18
33.4	50.75
35.2	52.00
35.7	53.00
35.7(max)	54.00
33.8(kopma)	55.13

4.6.3. Çekme Deneyinden Elde Edilen Veriler

Çekme deneyi sırasında elde edilen gerilme ve uzama değerleri aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bulunur. Çekme deneyi sonucunda malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı, çekme dayanımı, kopma uzaması, kopma büzülmesi, tokluk, süneklik gibi değerleri belirlenir.

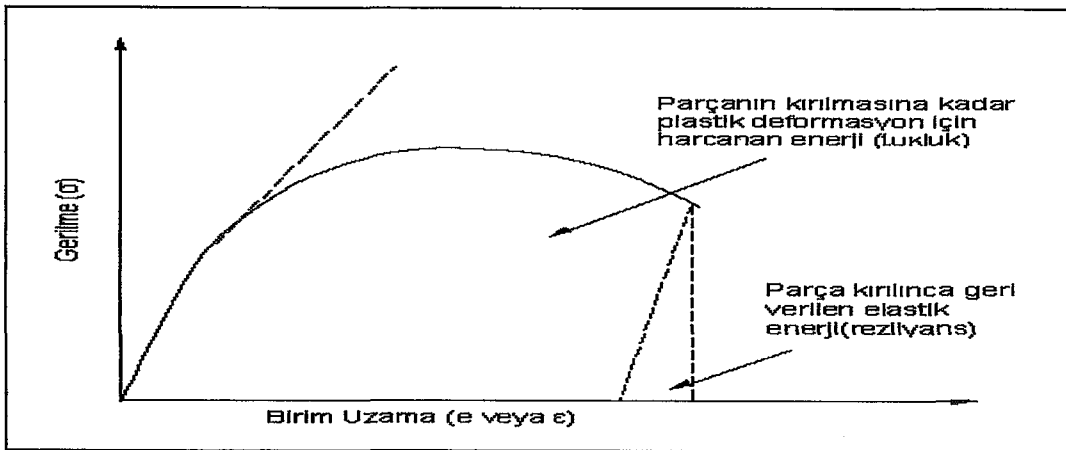
$$\text{Çekme gerilmesi } (\sigma) = F/A_0$$

$$\text{Birim uzama (e veya } \epsilon) = \Delta l / l_0$$

$$\text{Yüzde uzama } (\% \epsilon) = \Delta l / l_0 \cdot 100$$

4.6.4. Tokluk :

Birim malzeme hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji absorbe etme yeteneğini gösterir. Genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın ($\int \sigma \cdot d\epsilon$) hesaplanması ile bulunur. Bu formüldeki ek, kırılıncaya kadar malzemede meydana gelen birim şekil değiştirme miktarıdır. Tokluğun, gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla belirlenişi şekilde görülmektedir. Malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olarak kabul edilen tokluğun karşılığı olarak da gevreklik terimi kullanılır.



Şekil 4.8 Gerilme – birim uzama eğrisi yardımıyla şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi

Malzemelerin mekanik özellikleri iç yapılarına bağlıdır. İç yapılar ise ısı ile işleme değiştirilebilir. Bu nedenle malzemelerin mekanik davranışları uygulanan ısı ile işleme göre değişir.

4.6.5. Karbonlu Çelikler (Su Çelikleri) :

Karbonlu çeliklerin nitelikleri, genellikle bünyelerindeki karbon miktarı ile ortaya çıkar. Karbon miktarları yüksek olan çeliklerin sertlikleri çok yüksek olmasına karşılık pullanmaya meyillidirler. Az karbonlu çelikler, sert olmayan, dayanıklı, kolay dövülüp kaynak imkanı olan çeliklerdir.

Kalıpcılık tekniğinde % 0,5 ile % 1,7 arasında karbon teşkil eden çelikler kullanılmaktadır. Tam karbonlu çelikler suda sertleştirilir. Bunlarda sertleşme sadece yüzeyde olur, iç bünye sert olmayan bir şekilde kavi kalır. Bu yüzden su çeliklerine sert kabuklu da denir. Sertleşme derinliği genellikle 3 mm. dir. Fakat ısının artırılmasıyla bu derinlik 5 mm. ye kadar çıkarılabilir.

Çok az miktarda diğer metallerin karışımıyla karbonlu çeliğin suda sertleşme karakteri değişmez, ıslah edilmeleri mümkün olmaktadır (ilaveli karbonlu çelik).

4.7. Deformasyon

Deformasyon bir malzemenin bir yük veya kuvvet altında orijinal veya başlangıç şeklinin değişmesi anlamına gelir. Kullanılan bir malzemenin kullanım şartlarında şeklinin değişmemesi kullanıcı açısından temel amaçtır. Ancak metalik malzemelerin kullanışlı şekillerine getirilmesi ve bu malzemelerin özelliklerinin değiştirilmesi çoğu kez çeşitli deformasyon işlemleri ile yapılır.

Malzemelerin yük veya kuvvet altında deformasyona uğraması elastik ve plastik olmak üzere genellikle iki şekilde olur. Elastik deformasyonda malzeme üzerindeki yük kaldırıldığında malzeme eski haline dönerken plastik deformasyonda eski haline dönmez(Bozdoğan 1995).

Deformasyon prosesinin uygulandığı sıcaklığa göre de deformasyon birkaç sınıfa ayrılır. Bunlar soğuk ve sıcak deformasyon (yeniden kristalleşme sıcaklığı) olmak üzere iki şekilde incelenebilir.

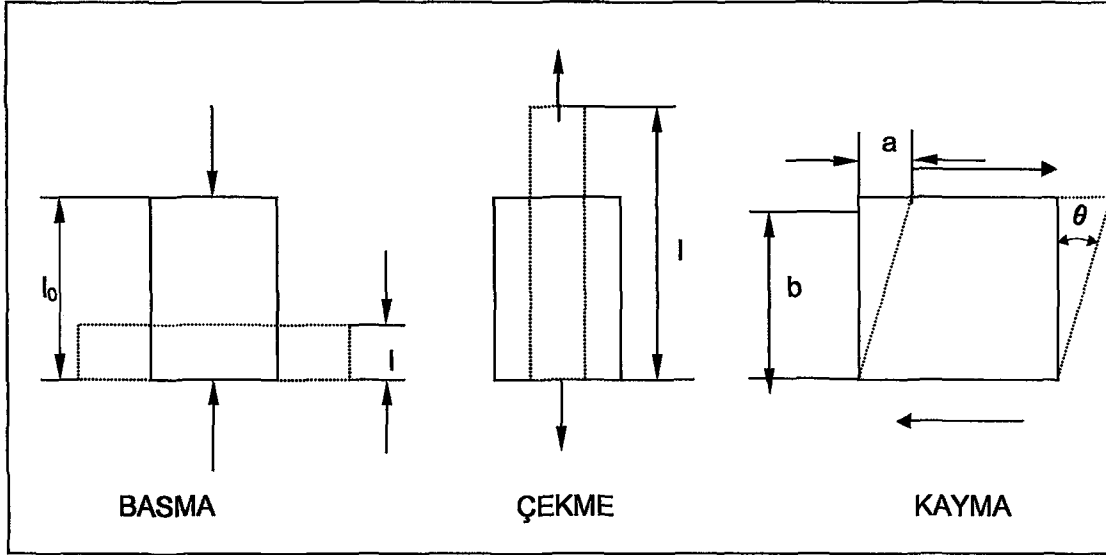
4.7.1. Elastik Deformasyon

Kalıcı olmayan deformasyon olarak da tanımladığımız bu tip deformasyonda; yük veya kuvvet altında deforme olan malzemenin yük veya kuvvetin kaldırılması ile eski halini alması olayıdır. Bu durum, tek yönde çekmeye tabi tutulmuş metalik bir malzemeden elde edilen kuvvet - % uzama eğrisinin lineer bölgesi ile gösterilebilir. Malzemeye uygulanan kuvvet kritik bir noktayı (akma sınırı) aşmadıkça malzemede oluşan deformasyon miktarı kalıcı değildir. Yani uygulanan kuvvet kaldırıldığında oluşan elastik deformasyon geri döner ve malzeme eski boyutlarını kazanır. Son şekli verilmiş ve servis şartlarında kullanıma sunulmuş bir malzemeden veya parçadan beklenen veya müsaade edilebilir maksimum deformasyonda elastik deformasyondur. Ancak bir malzemeyi kullanışlı şekle sokmak veya bir parça üretmek istediğimizde uygulamamız gereken yük veya kuvvet elastik deformasyonun ötesinde akma sınırını aşarak kalıcı deformasyon bölgesine ulaşmalıdır(Kayalı ve Ensari 1986).

Bir malzemeye yük veya kuvvet uygulandığı zaman malzemede bir gerilme ve buna karşı bir de birim şekil değiştirme olur. Gerilme değeri yük veya kuvvetin uygulandığı alana bölünmesi ile elde edilir ve σ ile gösterilir ($\sigma = F/A$). Birim şekil değiştirme ise malzemenin başlangıç boyutuna göre meydana gelen deformasyon miktarı olup ϵ ile tanımlanır [$\epsilon = (l_s - l_0) / l_0$]. Elastik deformasyon bölgesinde oluşan gerilme ve deformasyon miktarı orantılı olup, bu orana Elastisite Modülü veya Young Modülü denir ve Hooke kanunu ile açıklanır ($E = \sigma/\epsilon$).

4.7.2. Plastik Deformasyon

Tüm plastik şekil verme işlemlerinde malzeme çekme, basma veya kayma gibi üç temel şekil değişiminden birinin veya birkaçının etkisinde kalır(şekil 4.9).



Şekil 4.9 Malzemenin şekil değiştirme halleri

Herhangi bir şekil değiştirme işlemi uygulanan bir elemanda meydana gelen birim şekil değiştirme, bu elemanın şekil değiştirme işleminden önceki ve sonraki boyutlarına bağlı olarak tarif edilir. Basma ve çekmede birim şekil değiştirme;

$$e = (l - l_0) / l_0 \quad 4.1$$

Bu ifadeden de görülebileceği gibi e değeri basmada negatif, çekmede ise pozitiftir. Kaymada ise şekil değiştirme (veya kayma)

$$\text{tg } \theta = a/b \quad 4.2$$

şeklindedir.

Metalik bir cisme belirli bir kuvvet uygulandığında cisimde meydana gelecek şekil değiştirmenin veya belirli bir şekil değiştirme meydana getirmek için uygulanması gereken kuvvetin hesaplanması mühendislikte büyük bir önem taşır. Bir plastik şekil verme işlemini gerçekleştirecek olan kuvvetin bilinmesi örneğin takım ve kalıp malzemelerinin seçimi ile işlemin yapılacağı tezgahın kapasitesinin tayini bakımından gerekli olmaktadır. Bu nedenle, şekil değiştirme ile bu şekil değiştirmeyi veren kuvvet arasındaki bağıntı plastik şekil vermenin

temel parametrelerinden biridir. Bu bağıntıda şekil değiştirme bağımsız değişkendir.

Kalıcı deformasyon olarak tanımladığımız bu tip deformasyonda, malzeme uygulanan yük veya kuvvet altında orijinal boyutunu kaybeder ve yükün veya kuvvetin kaldırılması ile şekil 4.8 den de görüldüğü gibi uygulanan yük ve kuvvetin oluşturduğu gerilme değeri akma sınırını veya akma gerilmesi değerini aştığı zaman malzeme kalıcı deformasyona gitmektedir. Bu durum bize malzeme veya parça üretimi esnasında malzemeye uygulayacağımız yük limitlerini verdiği gibi, parçanın kullanımı esnasında sakınılması gereken yük ve gerilmeleri de verir. Çekme diyagramının akma sınırından sonraki bölümünde artan deformasyon miktarı için artan bir yük veya kuvvete ihtiyaç vardır. Bu duruma deformasyon sertleşmesi denir ve malzeme mukavemetinin arttığını ifade eder.

Bir malzemeye, yük uygulandığı zaman plastik olarak deformasyona götüren dört önemli mekanizma vardır. Bunlar; kayma prosesi, ikizlenme, sürünme ve tane sınırlarının kaymasıdır. Kayma prosesi plastik deformasyonda en önemli mekanizma olup dislokasyonların kayma sistemine göre hareketi (kayma düzlem sayısı x kayma yön sayısı) olarak tanımlanır. Kayma sistem sayısı fazla olan malzemeler daha az olan malzemelere göre daha çok sünekler.

Kayma, dislokasyonların kayma düzlemi (atom yoğunluğu en yüksek olan düzlem) boyunca ve kayma yönünde (atom yoğunluğu en yüksek olan yön) hareketidir. Malzemeye uygulanan yük çekme, basma ve kayma şeklinde olabilir. Uygulanan yükün her durumunda malzemedeki kayma gerilmeleri oluşur ve dislokasyonların kaymasını sağlar. Yüklenen yük veya kuvvetin uygulama yönüne göre ne kadar bir kayma gerilmesi oluşturacağını ve bu gerilmenin dislokasyonların hareketi için yeterli olup olmayacağını Schmid Kanunu belirler.

Artan sıcaklık ile malzeme sünekliğinin artması ve buna bağlı olarak da uygulanacak yük ve kuvvetin azalması çoğu kez deformasyon öncesi veya deformasyon sırasında malzemelerin ısıtılmasını gerektirir. Bir malzemenin

deforme edilmesi esnasında uygulanan deformasyon sıcaklığına göre deformasyon işlemleri iki ayrı kritere göre sınıflandırılır. Bunlardan birisi yeniden kristalleşme sıcaklığı diğeri ise benzeş sıcaklıktır (T/T_y). Kriter olarak benzeş sıcaklık alınırsa deformasyon işlemleri soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere üçe ayrılır. Sıcaklık deformasyonu etkileyen en önemli parametre olduğundan, farklı deformasyon sıcaklıkları malzemede farklı mikroyapılar ve dolayısı ile farklı malzeme özelliklerine neden olur.

4.7.2.1. Soğuk İşlem :

Deformasyon sıcaklığının $0.3T_y$ altında olduğu durumlarda yapılan deformasyondur. Böyle bir ortamda metal veya alaşım bir taraftan deforme olurken diğeri taraftan mukavemeti artar. Soğuk işlem esnasında malzemenin mukavemetinin artmasının nedeni, malzeme içinde dislokasyon yoğunluğunun artması ve bu dislokasyonların etkileşim içinde bulunarak kilitlemesine dayanır (deformasyon sertleşmesi). Oluşan bu deformasyon sertleşmesi ile malzemenin mukavemeti arttığından soğuk işlem ile deformasyon oranı azalır ve daha fazla deformasyon yapılması malzemede çatlamalara ve kırılmalara neden olur. Ayrıca malzemeyi deforme etmek için gerekli enerji miktarıda artar. Bu nedenle soğuk işleme tabi tutulan malzemelerde çok miktarda deformasyon yapılmak istenirse ara kademelerde malzeme tavlınır. Soğuk işleme tabi tutulmuş malzemenin mikroyapısında, taneler deformasyon yönüne doğru uzamış durumda olup yüksek oranda iç gerilmeler taşır.

4.7.2.2. Ilık İşlem :

Deformasyon sıcaklığı $0.3T_y$ ile $0.5T_y$ arasında olan deformasyon işlemine denir. Ilık işlem esnasında yeniden kristalleşme olmaz. Ancak yapı deforme olmuş durumda ve dinamik toparlanmalar sözkonusudur. Dolayısıyla ılık işlem esnasında oluşan deformasyon sertleşmesi soğuk işlemdekinden az ve oluşan deformasyon oranı ise soğuk işlemdekinden fazladır. Deformasyon için gerekli olan enerji miktarı soğuk işleminkinden az ancak sıcak işleminkinden fazladır.

4.7.2.3. Deformasyon Sertleşmesi :

Deformasyon sırasında malzeme mukavemetindeki artış dislokasyonlardaki çoğalma neticesinde elde edilir. Deformasyondan önce bir metalde ortalama 10^6 cm/cm³ dislokasyon vardır. Bu da mukavemet açısından oldukça az dislokasyon miktarıdır. Bir malzemeye akma gerilmesinin üzerinde bir gerilme uygularsak dislokasyonlar kaymaya başlar. Sonuçta kayma düzleminde kayan bir dislokasyon bir engel ile karşılaştığında bu engel tarafından durdurulup uçlarından bağlanır. Biz gerilmeyi uygulamaya başladığımızda dislokasyon bu defada şişerek hareket etmeye başlar.

4.8. Malzemenin Mekanik Özelliklerinin Biçimlendirmeye Etkisi

Malzeme mekanik özellikleri genel olarak bir malzemenin yüklemelere karşı gösterdiği direnci veya mukavemeti olarak tanımlanabilir. Malzemelerin mekanik özellikleri, atomsal yapılarına ve bağlarına bağlı olduğu gibi üretim şekline ve proses edilmesine ve dolayısıyla mikroyapılarına önemli ölçüde bağlıdır. Bu nedenle eğer bir malzemenin mekanik özellikleri kontrol edilmek veya değiştirilmek istenirse miroyapıyı kontrol edici mekanizmalara gidilmelidir.

Malzemelerin yapı ve özelliklerini kontrol etmekte kullanılan mekanizmaları; tane boyutu ile sertleştirme, katı eriyik sertleşmesi, deformasyon sertleşmesi, dispersiyonla sertleşme, yaşlandırma ve faz transformasyonu olarak sıralayabiliriz. Bütün bu proseslerin hemen hepsi plastik deformasyona neden olan kaymaya karşı bir bariyer oluşturarak malzeme mukavemetini artırır. İlk üç metot üç farklı kristal hatasına dayanır. Tane sınırı gibi yüzey hatalarını kontrol ederek tane boyutu sertleşmesi elde edilirken yer alan veya arayer gibi noktasal hataları kontrol ederek katı eriyik sertleşmesi gerçekleştirilir. Dislokasyon veya çizgisel hataların artırılması ve kilitlemesi ile de deformasyon sertleşmesi sağlanır.

4.8.1. Elastisite Modülü :

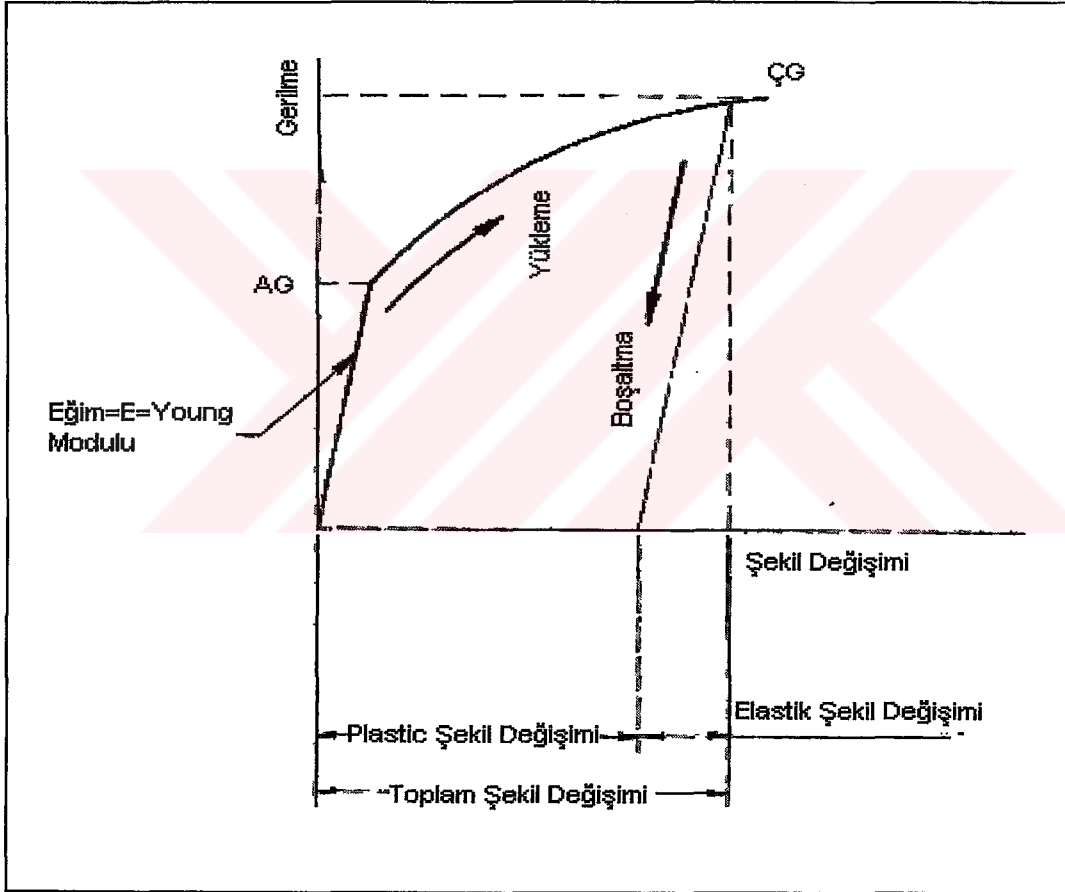
Elastisite veya Young modülü olarak bilinen bu değer gerilme birim şekil değiştirme eğrisinin elastik bölgedeki eğimidir. Bu ilişki Hooke Kanunu ile karakterize edilir. Elastisite modülü malzeme içinde atomları birbirine bağlayan kuvvet ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Kuvvet-atomlar arası mesafe olarak verilen bu diyagram ile metalde elastik deformasyon oluşturacak derecede atomları birbirinden ayırmak veya germek için gerekli kuvveti tanımlayabiliriz. Diyagramda toplam kuvvet eğrisinin eğimi elastisite modülünü tanımlar. Ergime sıcaklığı yüksek metallerde bağlanma kuvveti yüksek ve bunun sonucu olarak elastisite modülü de yüksektir (çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Bazı malzemelerdeki sıcaklık-elastikiyet ilişkisi (Alexander 2000)

Metal	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Elastisite Modülü (Gpa)
Pb	327	14
Mg	650	45,5
Al	660	70
Ag	962	72
Au	1064	79
Cu	1085	127
Fe	1538	210

Elastisite modülü malzemenin rijitliğinin bir ölçüsüdür. Yüksek elastisite modülüne sahip ve dolayısıyla rijit bir malzeme elastik yük altında şekil ve ölçülerini korur. Eğer bir şaft dizayn ediyorsak pek çok sıkı toleranslara ihtiyacımız olabilir. Çünkü eğer şaft kullanım esnasında toleranslara çok yakın olarak elastik deformasyona uğrarsa aşırı sürtünmeye aşınmaya veya tutulmaya neden olur.

Elastiklik modülü ve akma dayanımı değerleri, elastik geri yaylanma miktarının belirlenmesinde büyük önem taşırlar. Geri yaylanmayı kontrol eden elastik şekil değişimleridir. Bu nedenle, artan elastik şekil değişim miktarı ile geri yaylanma da artacaktır. Düşük karbonlu çelikler, yaklaşık 140-240 MPa akma dayanımı değerleri arasında yüksek elastiklik modüllerine sahip olduklarından (~210000 MPa) düşük geri yaylanma gösterirler. Düşük karbonlu çelikler ile yaklaşık aynı dayanıma sahip bir alüminyum alaşımı, düşük modüle sahip olduğundan (~70000MPa) üç kez daha fazla yaylanacaktır (şekil 4.10). Titanyum alaşımları ise, çok yüksek akma dayanımına sahip olduklarından çok daha fazla geri yaylanacaklardır(Fast Form).

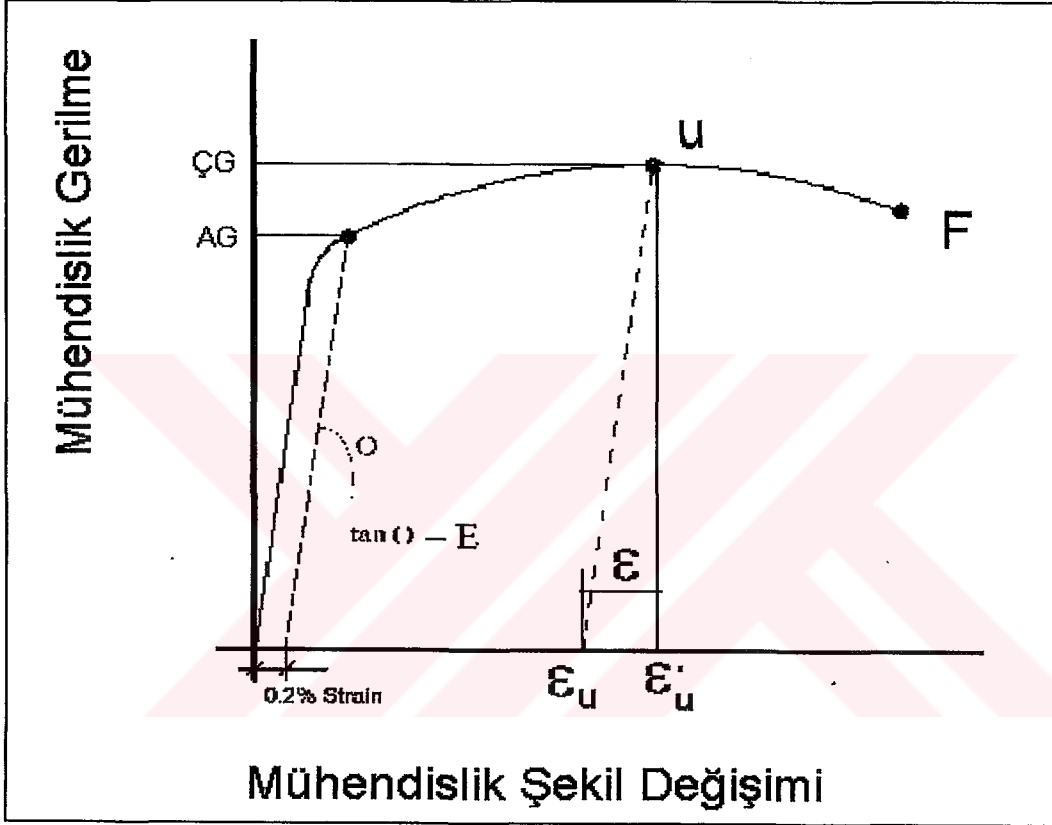


Şekil 4.10 Geri yaylanma (spring back)

ÇG : Çekme Gerilmesi

AG : Akma Gerilmesi

Elastiklik sınırı aşıldığında plastik şekil değişimi başlar. Plastik alanda, çekme eğrisinin u maksimum noktasında veya daha önceki herhangi bir noktada (akma mukavemetinden sonraki) yük boşaltıldığı takdirde, geriye dönüş elastik doğrusuna paralel $u-\epsilon_u$ doğrusu boyunca olur. Şekil 4.11 dan da görüldüğü gibi u noktasında ϵ'_u olan toplam birim şekil değiştirme, yük boşaltıldıktan sonra ϵ kadar azalmaktadır ($\epsilon'_u - \epsilon_u$).



Şekil 4.11 Geri yılanmanın çekme diyagramındaki yeri

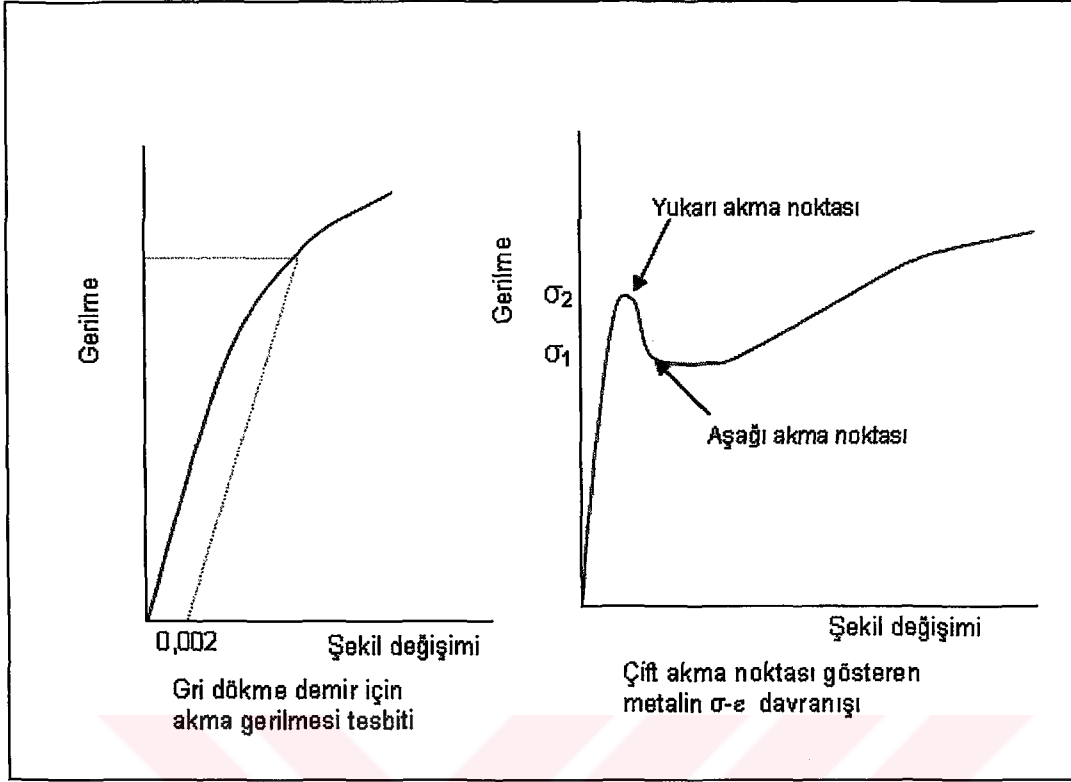
4.8.2. Akma Gerilmesi :

Akma gerilmesi öyle bir gerilmedir ki bu noktada kayma dikkate değer ve önemli ölçüye kavuşur. Malzemede akma veya çözülme olayı başlar. Yani malzeme elastik deformasyondan plastik deformasyona geçer. Bu nedenle bu gerilme malzemeyi elastik ve plastik olmak üzere ikiye ayırır ve $\sigma_a = F_a / A_0$ (F_a : akma esnasında uygulanan yük, A_0 : numune ilk kesit alanı) bağıntısı ile hesaplanır.

Elde edilen akma mukavemeti, üreteceğimiz bir parçanın kullanım şartlarında plastik deformasyona gitmeden ne kadar yüke dayanabileceğinin üst sınırını gösterir. Dolayısıyla malzemenin akma mukavemetini bilmekle uygulanan yük ile malzemenin kalıcı deformasyona gidip gitmeyeceğini biliriz. Eğer servis şartlarında yüksek yükler söz konusu ise daha yüksek akma mukavemetine sahip bir malzemeyi kullanır veya uyguladığımız yük ile plastik deformasyon oluşturmayacak boyutta malzeme dizayn ederiz. Yani malzeme üzerinde oluşan gerilme, akma gerilmesinin altında kalır. Diğer taraftan eğer deformasyon ile yeni ölçülerde ve şekillerde parçalar ürettiyorsak uygulanan gerilme akma mukavemetinin üzerinde olmalıdır ki malzeme kalıcı şekil değişikliğine uğrasın.

Çoğu zaman gerilme-şekil değiştirme diyagramındaki akma mukavemeti değeri kolaylıkla tespit edilemeyebilir. Bu durumda akma veya çekme gerilmesini diyagramdan biz saptamalıyız. Belirgin bir şekilde akma noktası olmayan bu tür diyagramlarda malzeme performansını engellemeyecek derecede küçük plastik deformasyon seçeriz(%0,2). Tayin ettiğimiz bu değerden birim şekil değiştirme eğrisinin elastik bölgesine paralel çizerek eğriyi kestiği noktada oluşan gerilmeyi %0,2 akma gerilmesi olarak kabul ederiz.

Ancak diğer taraftan düşük karbonlu çelikler; birim şekil değiştirme eğrilerinde iki akma noktası gösterirler. Şekil 4.12 deki diyagrama göre σ_1 de malzemenin plastik olarak deforme olması beklenir. Ancak küçük boyutlu arayer karbon atomları dislokasyonlar etrafında toplanarak etkileşim yaparlar ve kaymayı engelleyerek akma noktasını σ_2 ye yükseltirler. Bu durumda sadece σ_2 den daha fazla gerilme uygulayarak dislokasyonların kaymasını etkileyebiliriz. σ_2 gerilmesinden sonra dislokasyonlar harekete başlar ve dislokasyonları karbon atomları ile kilitlenmekten kurtarır ve bundan sonra dislokasyonlar daha düşük gerilmelerde daha hızlı kayarlar. Bu şekilde gerilme deformasyon eğrisine sahip malzemelerde alt akma gerilmesini (σ_1) kolayca tahmin edebiliriz.



Şekil 4.12 Malzemelerdeki alt ve üst akma noktası

Belirgin bir üst akma noktası, katılaşma sırasında segregasyon etkisi ile ara yer atomlarının dislokasyon boşluklarına yerleşerek dislokasyon hareketinin önlediği sakinleştirilmemiş (rimmed) çelik gibi malzemelerde görülür. Bir parçanın tüm bölgelerinde kalıcı bir şekil değişimi elde etmek ve işlem sırasında kalıbın deformasyonu takip edebilmesi için bu üst akma gerilmesi aşılmalıdır. Örneğin, tavlınmış bir alüminyumda, belirgin bir akma meydana gelmez. Sac şekillendirme işlemlerinde, çoğunlukla belirgin bir akma noktasının görülmesi istenmez.

İçinde azot ve karbon gibi az miktarlarda ara yer atomu bulunduran sakinleştirilmemiş çelikler, %4 ile %5 mertebelerinde plastik şekil değişimlerinde girintili çıkıntılı gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterirler. Akma noktası uzaması (Lüders Band Oluşumu) olarak isimlendirilen bu davranış, azot ve karbon gibi faz içinde bulunmayan ara yer atomlarının dislokasyon altındaki boşluklara yerleşerek hareketlerini engellemesi ile açıklanabilir. Akma noktası

uzaması boyunca, şekil değiştirmiş bölgeler ile değiştirmemiş bölgeler arasında, Lüders bandı olarak adlandırılan deformasyon çizgileri oluşur. Oluşan Lüders Bandları, yüzeyde istenmeyen hatalara sebep olurlar. Bu yüzden belirgin bir akma noktası gösteren malzemeler, sac şekillendirme işlemlerinde kullanılmazlar.

Soğuk haddelenmiş ve tavlanmış çelik saclara temper haddesi uygulanmaktadır. Temper haddesi, şekil değiştirme oranı %0,5 ile %1,5 mertebelerinde olan bir soğuk haddeleme işlemidir. Bu işlemin amacı, saca daha sonra plastik şekil verilirken belirgin akma ve dolayısıyla lüders bandlarının oluşumunu engelleyerek yüzey görünümünün bozulmamasını sağlamaktır. Temper haddesinden sonra, saca yaşlanmaması için hemen plastik şekil verilmelidir. Aksi halde, depolama sırasında belli bir süre aşılırsa şekillendirme sırasında belirgin akma ve lüders bandları yeniden görülebilir.

Katılma sırasında, Al ve Si ilavesi çeliğin deoksidi olmasını sağlayarak içindeki gaz oluşumunu engellemektedir. Bunun sonucunda, karbon ve azot segregasyonu oluşmadığından, bu ara yer atomları dislokasyon boşluklarına yerleşememekte ve akma noktası uzaması meydana gelmemektedir.

4.8.3. Çekme Gerilmesi :

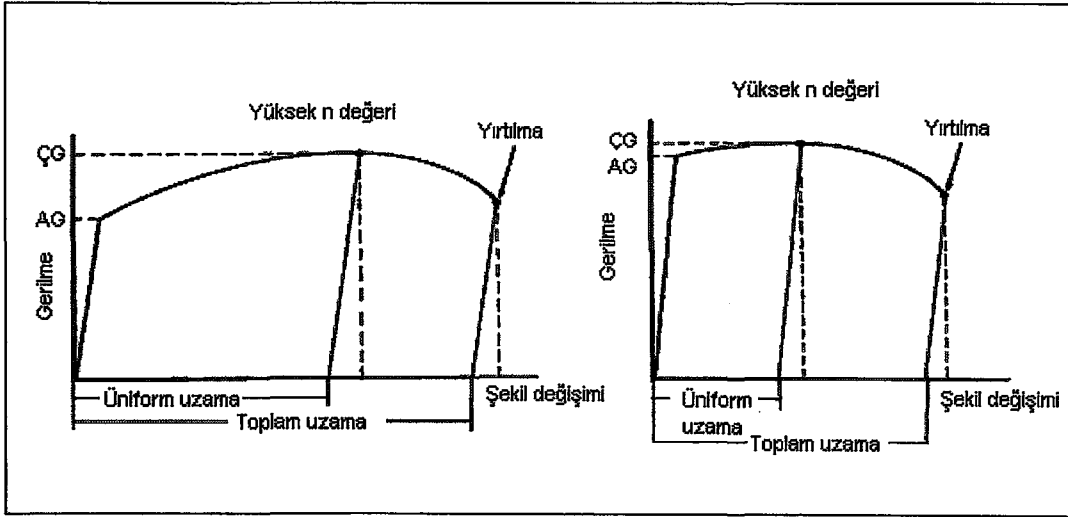
Çekme gerilmesi malzemeye uygulanan en yüksek kuvvetlerde elde edilen gerilme olup, çekme diyagramının en yüksek noktasıdır. Bir çok sünek malzemede deformasyon uniform olmaz. Bazı noktalar ve bölgeler diğer alanlara göre daha fazla deforme olurlar ve kesitlerinde daha çok azalmalar olur. Bu şekilde bölgesel olarak daha fazla deforme olmuş bölgeye boyun bölgesi denir. Çünkü bu bölgede kesitin alanı daha küçük ve deformasyonun devamı için daha düşük kuvvete ihtiyaç vardır. Mühendislik gerilme hesaplamalarında bu noktalar için orijinal kesit alanı A_0 kullanıldığından gerilme değerleri gerçek durumdan düşüktür. Çekme gerilmesi, sünek bir malzemede boyun oluşumunun başladığı gerilme olarak bilinir.

4.8.4. Pekleşme Üsteli :

Bir sacın uygulanan gerilmedeki artış ile plastik şekil değişimi arasındaki sertleşme yeteneği, soğuk şekillendirilebilirliğini etkileyen en önemli malzeme özelliğidir. Yerel olarak plastik şekil değişimine uğrayan bir bölgede, burada oluşacak pekleşmeden dolayı dayanım artacağından, bu bölgedeki şekil değişimi durur ve parçanın diğer komşu bölgelerinde plastik şekil değişimi başlar. Bu şekilde, pekleşmeden dolayı daha fazla uniform şekil değişimi elde edilerek, parça daha geç hasara uğramaktadır. Şekil değiştirme sertleşmesi (pekleşme), çok kısa olarak deformasyon sırasında dislokasyon yoğunluğundaki artış ve artan dislokasyonların gerek birbirleri gerekse diğer engellerle etkileşmesi ile açıklanmaktadır.

Çekme deneyinde malzeme maksimum yüke kadar üniform şekil değiştirir. Üniform şekil değişimi, sacın pekleşme yeteneğinin bir ölçütüdür. Diğer bir ölçüt de, pekleşme üsteli (n) değeridir. Çekme deneyi sonucunda elde edilen akma eğrisindeki plastik şekil değişimi ile gerilme arasındaki ilişki, Holloman bağıntısı olarak bilinen $\sigma = Ke^n$ üstel fonksiyonu ile tanımlanır. Bu eğriye göre, logaritmik gerilme-plastik şekil değişimi diyagramındaki doğrunun eğimi pekleşme üsteli (n) olarak ifade edilmektedir.

Pekleşme üsteli (n) değerini artıran mikroyapısal özellikler, metalde daha iyi şekil değişimi dağılımı ve daha yüksek sınır şekil değişimleri sağlayarak sacın şekillendirilebilirliğini iyileştirirler. Yeniden kristalleşen yapılar, düşük akma dayanımları ve yüksek pekleşme kapasitesi gösterirler. Ayrıca, düşük dizi hatası enerjisine sahip pirinçte de, çapraz kaymanın zorluğundan dolayı pekleşebilme özelliği dikkati çekmektedir. İyi bir şekillendirilebilirlik için diğer önemli bir koşulda, n değerinin yüksek olması yanında artan şekil değişimlerinde de yüksek değerlerini korumasıdır (şekil 4.13).



Şekil 4.13 Pekleşme üsteli (Fast Form)

Şekillendirme sırasında, bir çok mühendislik malzemesinin dayanıklı olması istenir. Yumuşak sünek bir matris içine sert küresel fazların dispersiyonu ile hem sünek hem de dayanımı yüksek malzemeler elde edilebilir. Örneğin, çift fazlı çeliklerde ferrit matris içine sert martenzit fazı dağıtılmıştır. Bu çelikler otomobil endüstrisinde sıkça kullanılmaktadır. Çift fazlı çelikler diğer çeliklere kıyasla daha iyi dayanım-süneklik kombinasyonuna sahiptirler.

4.8.5. Deformasyon Hızına Duyarlılık Üsteli :

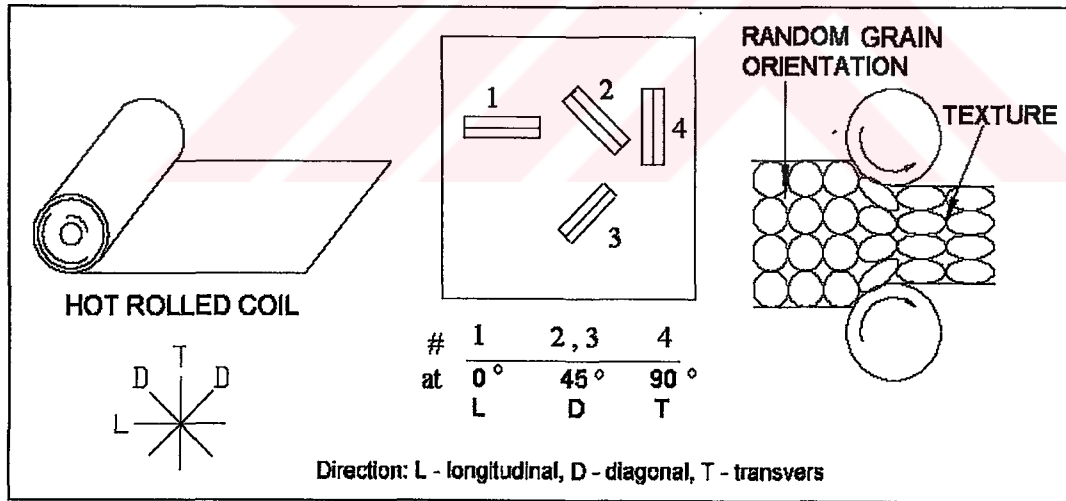
Birim şekil değiştirme hızı ile akma gerilmesi arasında $\sigma = C\epsilon_0^m$ olarak tanımlanan bir üstel ilişki vardır. Burada ϵ_0 birim şekil değişim hızı, m deformasyon hızına duyarlılık üsteli ve C ise bir malzeme sabitidir. Malzemedeki şekil değiştirme dağılımında rol oynayan bir diğer önemli özellikten biride şekil değişim hızına duyarlılıktır. Bu özellik artan şekil değiştirme hızı ile meydana gelen akma gerilmesindeki artış olarak tanımlanır. Eğer şekil değiştirme hızında bir artış meydana gelirse, artan şekil değişimi ile sertleşen malzeme daha üniform bir deformasyona maruz kalacaktır. Çünkü yüksek şekil değişim hızlarının meydana geldiği bölgelerde ek deformasyon oluşur ve bu ek deformasyon daha büyük gerilmeler oluşturur.

Şekillendirme işlemlerinde, şekil değiştirme miktarı ve şekil değiştirme hızındaki artışlar, çoğunlukla sürtünme ve geometrik sınırlamalardan dolayı

meydana gelmektedir. Hem pekleşme üsteli hem de deformasyon hızına duyarlık üsteli, üniform olmayan boyun vermenin azalmasında ve hasara kadar olan şekil değişim miktarının artmasında önemli rol oynamaktadırlar. Dislokasyonların ısıt titreşimleri sonucu malzemedeki kısa mesafeli engellerden kurtulmaları ile şekil değişim hızı duyarlılığı değeri yükselir. Dislokasyonların engelleri hızla aşması ile şekil değişim hızında bir artış meydana gelecektir. Sonuç olarak, yüksek m değerlerine sahip metaller daha büyük üniform şekil değişimleri göstereceklerdir.

4.8.6. Plastik Anizotropi :

Genellikle, 1.5 mm. ve daha az kalınlıktaki çelik saclar soğuk haddeme yöntemi ile elde edilirler. Haddeme çeliğin mikro yapısını değiştirir. Moleküller kalınlık yönünde değişirken aynı zamanda hadde yönünde uzar (şekil 4.14). Bu değişen tane oryantasyonu tekstür olarak isimlendirilir. Tekstürden dolayı haddelenmiş çeliğin mekanik özellikleri farklı eksenlerde farklı farklı olacaktır. Bu olay anizotropi olarak tanımlanır ve anizotropi katsayısı olarak bilinen R değeri ile tanımlanır.



Şekil 4.14 Saclarda haddeme ile tekstür oluşumu

Derin çekme işlemlerinde kullanılan saclar, imalattan dolayı anizotropik özellikler kazanırlar. Anizotropi, malzemedeki farklı yönlerde mekanik özelliklerde meydana gelen farklılık ile tanımlanır, tüm derin çekme işlemi boyunca malzemenin çekilebilirliğini etkileyen en önemli parametre olarak rol oynar.

Malzemenin derin çekilebilirlik yeteneği iki hususta toplanır. Birincisi, malzemenin flange bölgesinde kolaylıkla akabilme kabiliyetidir. Sac yüzeyindeki bütün yönlerde akma mukavemetinin düşük olması arzu edilir. İkincisi ise, malzemenin kalınlık yönündeki deformasyona direnç kabiliyetidir. Sacın kalınlık yönündeki akma mukavemetinin yüksek olması arzu edilir.

Plastik anizotropi, malzemenin boyun vermeye (incelmeye) karşı göstermiş olduğu direnç ile ilgili olduğu için derin çekme sırasında çok önemlidir. Sac metaller farklı doğrultularda şekillendirildikleri zaman değişik plastik anizotropi özellikleri gösterirler. Genişlik yönündeki birim şekil değişiminin (ϵ_w) kalınlık yönündeki şekil değişimine (ϵ_t) oranı "r değeri" olarak ifade edilmektedir.

Plastik anizotropi değeri r, sacdaki farklı doğrultular için elde edilir. Bunun için haddeleme yönüne, $0^\circ, 45^\circ$ ve 90° olacak şekilde sac numuneler kullanılır. Eğer malzeme izotrop ise $\epsilon_w = \epsilon_t$, dolayısıyla $r=1$ olmaktadır. Aynı zamanda r değeri malzemenin haddeleme yönünden de etkilenmez. Gerçekte ise r değeri malzemenin haddeleme yönüne göre değişmektedir. Bu durum düzlemsel anizotropi olarak adlandırılmakta olup derin çekmede görülen kulak oluşumu gibi problemlerin ortaya çıkmasına sebep olur. Eğer r değeri tüm yönlerde aynı fakat birden farklı ise, düşey (normal) anizotropi söz konusudur. Düşey anizotropinin bir ölçüsü olarak \bar{r} değerinden yararlanılmaktadır (Özbek 1987).

$$\bar{r} = \frac{r_0 + r_{90} + 2r_{45}}{4} \quad 4.3$$

Düzlemsel anizotropi değeri ise Δr ile gösterilir.

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2} \quad 4.4$$

$\bar{r} > 1$ ise, kalınlık yönünde malzemenin göstereceği direncin büyük olduğu anlaşılır.

$\bar{r} < 1$ ise kalınlık yönünde daha düşük dayanım vardır.

4.9 Şekillendirme Sınır Diyagramları

Endüstride, genellikle bükme, gererek şekillendirme ve derin çekme işlemlerinin bir arada uygulandığı karmaşık şekilli parçalar üretilmektedir. İstenilen şekle sahip parçalar üretebilmek için sac malzemesinin şekillendirilebilme sınırının belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, malzemelerin mekanik özelliklerinden yararlanarak sac metal şekillendirilebilirliğini belirlemeye yönelik çalışmaların yetersiz kalması, malzeme bazlı bazı özel şekillendirme deney tekniklerinin gelişmesine yol açmıştır. Bu deneyler, Swift derin çekme deneyi, Erichsen çökertme deneyi ve benzeri deneylerdir. Şekillendirilebilme tayin deneyleri, kalite kontrolünde, malzeme araştırma ve geliştirme çalışmalarında önemli rol oynamaktadır. Şekillendirme deneyleri, sac malzemelerin birbirleri ile karşılaştırılması için uygulanırlar. Şekillendirilebilirlik deneyleri ile elde edilen veriler endüstriyel şekillendirme işlemlerinde, sadece bir sacın diğerine göre daha başarılı olup olmayacağı hakkında bilgi verirler. Buna karşın, herhangi bir sac şekillendirme işleminin belli bir sac malzeme üzerinde başarılı olarak gerçekleşip gerçekleşmeyeceği veya şekillendirme işleminin başarılı olması için hangi değişikliklerin yapılması gerektiği hakkında bilgi vermezler (Özenç 1995 ve Autoform).

Temel malzeme özelliklerinin ve şekillendirme test tekniklerinin sac şekillendirme konusunda yetersiz olması, imalat mühendislerini Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) kavramını oluşturmaya zorlamıştır.

ŞSD, incelmanın (boyun verme) meydana geldiği, değişik düzlemsel şekil değişimi kombinasyonlarının kabul edilebilir değerlerini vermektedir. ŞSD, sac düzleminde meydana gelen e_1 ve e_2 birim şekil değişimleri tarafından tanımlanmaktadır. Bu diyagram boyun vermenin (incelme) meydana geldiği şekil değişimi bölgesi içinde yer almaktadır.

Bu nedenle, ŞSD sac şekillendirmede verilebilecek en büyük deformasyon sınırını belirler ve hasarı tanımlar. ŞSD'nın altındaki e_1 ve e_2 düzlemsel şekil değişimi kombinasyonları, hasarın meydana gelmediği güvenli

bölgeyi tanımlamaktadır. ŞSD'nın üzerindeki şekil değişimleri ise, hasarın meydana geldiği bölgeyi tanımlar. Hasar, yerel boyun verme veya incelmenin oluşması sonucu meydana gelir.

Sac şekillendirme işlemlerinde hasar oluşmadan verilebilecek en büyük deformasyon miktarını belirlemede, ŞSD kavramından yararlanma fikri ilk olarak Keeler tarafından ortaya atılmıştır. Keeler, düşük karbonlu çelikler için bir çok iki eksenli germe deneyleri yapmış, bunun yanında endüstride değişik biçimlerde şekillendirilmiş sac metal parçalardan yararlanmıştır. Yaptığı bu çalışmalar sonucunda, yırtılmanın meydana geldiği çatlak bölgesindeki büyük asal şekil değişiminin, küçük asal şekil değişiminin bir fonksiyonu olduğunu belirlemiştir. Böylece yatay eksende küçük şekil değişiminin, düşey eksende de büyük şekil değişiminin yer aldığı ŞSD'nı elde etmiştir. Ancak Keeler'in yaptığı çalışma, deneylerde elde ettiği asal düzlemsel şekil değişimlerinin her ikisinde pozitif olması ile sınırlı kalmıştır. 1968' de, Goodwin büyük asal şekil değişimlerinin pozitif, küçük asal düzlemsel şekil değişimlerinin de negatif şartlarda, Keeler'in çalışmasını geliştirerek bugünde iyi bilinen Keeler-Goodwin diyagramını elde etmiştir. İlk başlarda Keeler-Goodwin diyagramının sadece sünek malzemelerin davranışlarını incelemeye yararlı olacağı düşünülüyordu. Fakat Hecker bu diyagramların sadece sünek malzemeler için geçerli olan bir ŞSD olmadığını, her türlü malzeme için önemli bir malzeme özelliği niteliği taşıdığını göstermiştir.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar, Keeler-Goodwin eğrisinin universal olmadığını ve farklı yerel şekil değişimi kapasitesi sunan her malzeme için farklı ŞSD'nın olduğunu göstermiştir. Buna karşın ŞSD'ı, yerel plastik dengesizliğin başlangıcını gösterdiği için malzeme karakteristikleri yanında geometri, sürtünme ve sac kalınlığına da bağlıdır. Bu noktanın fark edilmesinden sonra, ŞSD'larının elde edilmesinde, farklı teknikler ortaya çıkmıştır. Bunlar iki gruba ayrılabilir. Düzlem içi gerilmeme ve düzlem dışı germe. Düzlem içi germe tekniğinde, numunenin üniform olarak plastik şekil değiştirmesine izin verilir, sürtünme ve geometri rol oynamaz. Düzlem dışı germe tekniği ise, genellikle sürtünme ve geometrinin önemli olduğu zımba-

gerilme işleminden oluşur. Bu iki teknik, oldukça farklı sonuçlar doğurur. Düzlem dışı germe teknikleri, basılarak şekillendirilecek sac metallerin üretiminde kullanılan değişik geometrilerdeki değişik zımba-kalıp grubunun kullanıldığı endüstriyel sac şekillendirme işlemlerindeki deneyimler ile ilişkili sonuçlar vermektedir.

4.9.1 Şekillendirme Sınır Diyagramının Deneysel Yöntemler ile Elde Edilmesi :

a. Hecker Sac Çökertme Deneyi :

Sac şekillendirme ile imalat yapanlar, geniş bir kullanım alanına sahip düşük karbonlu çeliklerden daha yüksek dayanım-ağırlık oranına sahip yeni malzemeler kullanmayı amaçlamışlardır. Ancak endüstride kullanılan düşük karbonlu çelikler için geliştirilen Keeler-Goodwin eğrisi, yeni geliştirilen malzemeler için yararlı olmamaktadır. Bu yüzden Nakazima, Veerman ve Hecker ŞSD'larının elde edildiği bazı teknolojik deneyler geliştirmişlerdir. Hecker sac çökertme deneyi aparatı şekilde görülmektedir.

Hecker sac çökertme deneyi aparatı, 101.6 mm (4 in) çapında yarı küresel bir zımba ve iki plakadan oluşmaktadır. Alt ve üst kalıplara deney sırasında sac numunenin derin çekilmesini önlemek için V şeklinde erkek ve dişi tutucu yivler işlenmiştir. İki kalıp arasında bir çember şeklinde konumlanmış tutucu yivler yardımıyla güvenli bir şekilde bastırılan sac numuneler şekilde gösterilen yarı küresel zımba üzerinde, hasar meydana gelinceye kadar germe işlemine tabi tutulmaktadır.

Bir malzemeye ait ŞSD'nı elde etmek için, deney numunesi şekilde gösterilen hasar oluşuncaya kadar Hecker sac çökertme deneyine tabi tutulmaktadır. ŞSD'larının elde edilebilmesi için değişik kombinasyonlardaki e_2/e_1 oranlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle e_2/e_1 oranlarına ulaşmak için, geliştirilmiş yağlama tekniklerinden ve daraltılmış numunelerden yararlanılır. Numunenin genişlik yönündeki şekil değişimi e_2 , numune genişliği büyüdüğü zaman artmaktadır. 200x200 mm. genişliğine sahip kare şeklindeki

numunenin, yağlama yapılmadan kalıplar arasında tutucular tarafından sıkıştırılıp, germe işleminin uygulanması sonucunda, pozitif e_2 değerlerinin e_1 'e göre daha küçük olduğu hasarlar meydana gelmektedir.

Numune ile zimba arasında yağlayıcı kullanıldığında, hasar, şekil değişimlerinin birbirine eşit olduğu dengeli iki eksenli çekme şartlarına doğru kaymaktadır.

Buna karşılık numune genişliği azaldıkça, e_2 birim şekil değişim değerleri azalmakta ve diyagramın sol tarafını oluşturan negatif değerleri almaktadır. Bu durum, sac metalin derin çekme şartlarına doğru kaydığını göstermektedir. Numune genişlikleri 25 mm.'den 200 mm.'ye kadar değişmektedir. 25 mm. genişliğindeki numunedeki şekil değiştirme durumu, tek eksenli çekme deneyinde elde edilene çok benzemektedir. Dar numunelerin deney sırasında kalıp radyüslerinde hasara uğramaması için, bu radyüslerin büyük tutulması gerekir. Yaklaşık olarak, bir $\dot{\epsilon}$ SSD'ı şekilde gösterilen dört numune ile elde edilebilir. Ancak daha hassas ve tam bir $\dot{\epsilon}$ SSD'ı elde etmek için şekilde görüldüğü gibi daha fazla sayıda numunenin kullanılması gerekmektedir.

Sürekli yüklemeye çökertilen numuneler hasar oluşuncaya kadar deneye tabi tutulurlar. Deney sırasında numunelerin boyun verme noktasına kadar şekil değiştirmesi tercih edilmektedir. Ancak numune, şekil değiştirmesi sırasında iyi gözlenemez veya yük kaydedilemez ise boyun verme noktasını belirleyip deneyi durdurmak oldukça zordur. Sonuçta, pratikte kırılmaya kadar test edilen numuneler, hem kırılmış hem de boyun vermiş bölgeleri beraber içerirler.

Diğer araştırmacılar, hasar sırasındaki farklı e_2 küçük birim şekil değişimlerini oluşturmak için daha farklı tekniklerden yararlanmışlardır. Bu teknikler, farklı geometrideki zimbalar, değişken tutma kuvvetine sahip eliptik şekilli baskı plakaları, değişik konfigürasyonlara sahip çekme numunelerini içermektedir. Bu tekniklerin çoğu, ya ek bir ekipman ya da daha hassas numune hazırlığı gerektirmektedir. Ancak Hecker'ın geliştirdiği teknik, sac şekillendirme teknolojisine basitlik ve uygunluk açısından en elverişli teknik olarak kabul edilmektedir.

- Dairesel Gridlerin Sac Üzerine İşlenmesi ve Şekil Değişimleri Ölçümü :

Yüzeydeki şekil değişimleri, şekilde görülen dairesele veya çember şeklindeki gridlerin sac yüzeyine işlenmesi ile ölçülebilir. Gridler, fotobaskı tekniği kullanılarak, fotoğrafik olarak numune üzerine basılır. Elektrokimyasal olarak dağlanmış gridlerin ise kaybolma gibi bir tehlikesi yoktur. Ancak, dağlama derinliği belirli bir derinliği aşarsa ince saclarda çok hasara yol açabilir. Bu yüzden, fotobaskı tekniği, daha güvenilir bir teknik olarak kabul edilmektedir. Grid çapı, şekil değişimlerini hassas olarak ölçmede önemlidir. 101.6 mm. çapındaki yarıküresel zımba için 2,54 mm. grid çapı kullanılmaktadır. Bu gridler, örneğin 20 büyütme ölçekli mikroskop yardımı ile ölçülebilir. Bu ölçümlerin hassasiyeti $\pm 0,01$ arasında kalmaktadır. Deformasyon sonucunda dairesele gridler etkin olan düzlemsel gerilmelerin etkisiyle elips şeklini alırlar. Elipsin kısa ve uzun kenarları (d_1 ve d_2) ölçülerek, küçük [$\epsilon_2 = \ln(d_2/d_0)$] ve büyük [$\epsilon_1 = \ln(d_1/d_0)$] gerçek birim şekil değişimleri veya $e_1 = \ln(d_1-d_0/d_0)$ ve $e_2 = \ln(d_2-d_0/d_0)$ mühendislik birim şekil değişimleri kolaylıkla hesaplanabilir.

- Şekillendirme Sınır Diyagramının Elde Edilmesi :

ŞSD'ları, yerel boyun vermenin başladığı bölgedeki sınır şekil değişimleri tarafından tanımlanır. Numune üzerinde, boyun vermenin ve yırtılmanın meydana geldiği bölgedeki ve bu bölge yakınındaki şekil değiştirmiş gridler ölçülür. Tipik bir yırtılma bölgesi şekilde görülmektedir. Hasar bölgesindeki elips şeklindeki gridler, buldukları konuma göre üç ayrı tip olarak tanımlanırlar. Birinci tip gridde, kırık elips içinden geçer. İkincisinde elips, ya boyun vermiş ya da ağır yüzey pürüzlülüğünün meydana geldiği kırıktan etkilenmiş bölgede konumlanmıştır. Üçüncü tip elips ise, kırılmanın veya boyun vermenin oluşmadığı bölge içinde kalır. Hasar bölgesindeki bu üç tip elips üzerinden ölçülen şekil değiştirme noktaları şekilde gösterilmektedir.

Grid analizi sonucu ölçülen e_1 ve e_2 birim şekil değişim noktaları ŞSD'ı üzerine işaretlenir. Şekilde ŞSD'ında, boyun verme veya kırılmanın meydana geldiği şekil değişimi noktaları emniyetsiz bölgeyi, bu bölgenin altındaki şekil değişim noktaları ise hasarın oluşmadığı güvenli bölgeyi tanımlamaktadır.

Uygun şekil değiştirme dağılımı ile şekillendirme sınırının etkisini birleştiren sac çökertme sınır yüksekliği, gerilebilirliğin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır.

b. Sac Çökertme Sınır Yüksekliği Deneyi :

Deney, Hecker sac çökertme deneyi donanımından yararlanılarak gerçekleştirilir. Üzerlerine foto-baskı tekniği ile dairesel gridler işlenmiş farklı genişliklerde hazırlanmış numuneler, çökertme sırasında derin çekmeyi önlemek için iki kalıp arasında tutucu yiv yardımıyla sıkıştırılır ve hasar meydana gelene kadar yarıküresel zımba ile çökertilir.

Her numune için yırtılmanın meydana geldiği andaki çökertme yüksekliği ve hasarlı veya boyun vermiş bölgedeki küçük birim şekil değişimi ölçülür.

4.9.2 Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Kullanımı :

Başarılı bir şekillendirme işlemi için malzeme özellikleri, kalıp geometrisi ve yağlama işleminin beraberce uyum sağlaması gerekir. Bu uyum seri üretime geçilmeden önce deneme üretimi aşamasında sağlanmalıdır. Bu çalışma sırasında ŞSD' larından faydalanılır. ŞSD'ları, sac şekillendirme sırasında açığa çıkan problemlerin teşhisinde ve çözümlünde çok yararlı bir araç olarak görölmektedir. Yüzeyine dairesel gridler işlenmiş saclar, ya üretim preslerinde ya da özel amaçlı ve hassas kontrollü preslerde şekillendirilebilirler. Hasar bölgesindeki şüpheli noktalardaki yerel şekil değişimleri ölçülerek ŞSD'ındaki değerler ile karşılaştırılır. Bu işlemin iki önemli yararı vardır ;

Sac üzerindeki sorunlu bölgeler tanımlanabilir ve problemin ciddiyeti değerlendirilerek hasar oluşumu engellenebilir. Eğer ölçülen şekil değişimleri hasar çizgisinin yakınında ise, takım aşınmasından, sıcaklıktan, yağlamadan, takımların eksenlerindeki veya sac kalınlığındaki değişikliklerden dolayı bazı üretim hasarları meydana gelebilir. Bu hasarlar, yirmi parçada bir meydana geliyorsa ciddi bir problem olarak kabul edilmektedir.

ŞSD'ı ile grid analizi sonucu ölçülen şekil değişimlerinin karşılaştırılmasında, diğer önemli bir yararda, problemin türünün tanımlanabilmesidir. En düşük e_1 değeri, düzlem birim şekil değişimi durumunda olduğundan, kritik bölgedeki deformasyonun, düzlem birim şekil değişimi bölgesinin yakınında yer alması durumunda, takım ve yağlama şartlarının değiştirilmesi ile, şekil değiştirme şartları ya daha fazla derin çekme şartlarına ya da daha fazla germe şartlarına doğru kaydırılarak hasar oluşumu önlenabilir.

ŞSD'ına yakın değerlerin bulunması, seri üretimde hata ihtimalinin yüksek olduğunu gösterir. Bu durumda, şekillendirme işleminin emniyetli bölgeye çekecek önlemler alınmalıdır. Örneğin iki eksenli çekme gerilmesinin hakim olduğu germe işlemine uğramış bir parçada, plastik şekil değiştirme miktarları ŞSD'ının üst bölgesinde kalıyorsa malzemede yırtılma olur. Yırtılmayı önlemek için, ya küçük birim şekil değiştirme miktarını (e_2) artırma veya büyük birim şekil değiştirme miktarını azaltma yoluna gidilir. Küçük birim şekil değiştirme miktarını (e_2) artırmak için malzemenin bu yöndeki hareketi sınırlandırılır. Bunun için örneğin, sıkıştırma kalıbına şekilde görüldüğü gibi girintili çıkıntılı şekil verilerek veya bu bölgedeki sürtünme artırılarak malzeme hareketi zorlaştırılır. Büyük birim şekil değiştirme miktarını azaltmak için şekillendirme derinliğini azaltma veya bölgesel incelme olayını önleme yoluna gidilebilir. Bölgesel incelmeyi önlemek için, örneğin, erkek kalıbın bu bölge ile temas eden kısmında sürtünme artırılarak şekil değiştirme miktarı azaltılabilir. Yukarıda belirtilen çareler söz konusu örnek için geçerlidir. Her durum için önce bir şekil değiştirme analizi yapılır, daha sonra çözüm yoluna gidilir. Genelde zimba veya erkek kalıp kuvvetini azaltacak önlemler, şekillendirme işleminin emniyetli bölgede kalmasına katkıda bulunacaktır.

Belirli bir kalıp tasarımı ile koşulları değiştirerek, şekillendirme işlemini emniyetli bölgeye çekmenin mümkün olmadığı durumlarda, daha kaliteli malzeme seçimine gidilmektedir. Bunun tersine, deneme çalışmaları sonunda, şekillendirme işlemine ait veriler, diyagramın çok altında bulunuyorsa, daha

düşük kalitede malzeme kullanımı yoluna gidilerek, maliyet açısından ekonomi sağlanabilir.

Kalıp aşınmasını incelemek için ara kontrol işlemlerinde, yeni bir malzeme partisinin ve yağlayıcı partisinin davranışını belirleme işlemlerinde veya koşullarda değişiklik yapmak gerektiğinde, plastik şekil verme analizinden ve ŞSD'ından yararlanma yoluna gidilir.

Çoğu zaman şekillendirme sınırına yakın bölgelerde çalışıldığından işlem sıkı kontrol altında yapılmazsa, yırtılma olayı ile karşılaşılabilir. Karmaşık şekilli parçaların pahalı olan kalıp imalatına başlamadan önce plastik şekil değiştirme analizlerinden yararlanarak işlemin başarılı olup olmayacağını tahmin etmek gerekir. Bu aşamada kalıp tasarımında alınacak önlemlerle sağlam parça üretimi daha kolay olarak gerçekleştirilebilir.

Metalsel malzemelerin şekillendirilmesinin iki sınır durumu olan çökertme ve çekme, ve bunlarla ilgili deneyler yukarıda açıklandı. İmalat teknolojisinde kullanılan yöntemler bu deneylere oranla daha karmaşıktır ve her ikisini de içerir. Bu açıdan çökertme ve derin çekme deneyleri ve bunlardan elde edilen sonuçlar daha çok malzeme sınıflandırılması ve seçimlerinde kullanılır. Presleme ile ilgili sorunların çözümünde ise en geçerli yöntem genişleme analizidir. Bu yöntemde amaç preslenecek parçanın deformasyonu hakkında bilgi sahibi olmaktır. Malzemenin presleme esnasında kırılması gibi sorunlar ancak bu bilginin ışığında çözüme kavuşur.

Şekillendirme sırasında oluşturulabilen kalıcı plastik deformasyon miktarı yüzeye çizilen belirli tekstür çizgileri sayesinde ve bu çizgilerin şekillendirme sırasında yüzeyde oluşan gerilmelere bağlı olarak değişiminin ölçülmesiyle belirlenebilir. Şekil değiştirme miktarının ölçülmesinde kullanılacak çizgiler maksimum uzama ve buna dik yönde çizilmelidir. Çünkü kalınlıktaki değişimin ölçülebilmesi malzemeyi kesmeden imkansız gibidir. Bu nedenle malzemenin hacminde bir değişim olmadığını kabul etmek ve buradan yola çıkarak kalınlıktaki şekil değişimini diğer düzlemlerdeki şekil değiştirmelere bağlı olarak hesaplamak uygundur.

Birincil şekil değiştirme (maksimum germe yönündeki plakada oluşan şekil değiştirme miktarı) ε_1 ve ikincil şekil değiştirme (maksimum germe yönüne dik yöndeki şekil değiştirme miktarı) ε_2 olarak gösterilir. Kalınlık yönündeki şekil değiştirme bazen ε_3 şeklinde gösterilir. Kritik bölgenin yeri ve maksimum şekil değiştirmenin hadde yönüne göre oryantasyonu bir parçanın şekillendirilmeden önce bilinmesi olası değildir, bunun için dairesel tekstür uygulaması yararlı olacaktır. Bu tip bir baskı, çelik levha üzerine elektrokimyasal olarak, mürekkep kullanılarak yada fotoğraf baskısıyla yapılabilir. Yakın çizgiler ve küçük daireler (2,5 mm. çap) kritik deformasyonun çok küçük bir bölgede yoğunlaştığı yerlerde kullanılmalıdır. Geniş açıklıklar metal akışının çok olduğu yada deformasyonun daha hafif olduğu bölgelerde kullanılmalıdır. Kritik şekil değiştirme bölgesi civarındaki bölgeler metal hareketini ve yönünü görmek açısından önemli bölgelerdir. Aynı şekil değiştirme değerleri farklı malzemeler için değişim gösterebilir (maksimum şekil değiştirme miktarı aynı olsa bile).

ε_1 ve ε_2 nin çeşitli kombinasyonları altında levha üzerindeki bir kare yüzeyinde oluşan bölgesel artış bir seri çizgiyle ifade edilmiştir. Sıvama operasyonu nedeni ile oluşan bölgesel artış genelde % 0 – 50 arasında değişir.

Bölgesel azalmalar genellikle görülmez, azalma yerine buruşmalar olur. Bölgesel artış % 50 yi geçerse genelde yırtılmalar gözlenir. % 50 den fazla bölgesel artış germe işlemlerinde görülebilir.

Şekillendirme sınır diyagramları, farklı malzemeleri karşılaştırmak için ya da operasyon ayarlarının yapılmasında kullanılır.

4.9.3 Şekillendirme Sınır Diyagramlarının Çizilmesi

Genellikle 2,5 mm. çapında daireler levha üzerine bakı yada elektro dağlamayla çizilir. Her bir daire deformasyonun olduğu bölgelerde elips şekline döner. Elipsin birincil ve ikincil eksenleri malzemedeki oluşan birincil ve ikincil deformasyon miktarlarının bir göstergesi olarak kabul edilir. Hasarın meydana geldiği limitler $\dot{\gamma}_{SSD}$ eğrisinin limitlerini oluşturur. $\dot{\gamma}_{SSD}$ 'nin altında kalan

bölgelerde malzemeye uygulanacak tüm deformasyon kombinasyonları için malzeme şekillendirmeye dayanabilir.

Tipik bir çekme deneyinde ikincil şekil değiştirme genellikle eksi değer olarak, uzamanın yarısından daha azdır. Kapsamlı bir levha testi yapıldığında, düzlem şekil değiştirme koşulları hakimdir ve ikincil şekil değiştirme sıfır olur. Bazı eğme deneylerinde deformasyon çift eksenli germeyle oluşur ve anizotropideki sapmalar sadece birincil ve ikincil şekil değiştirmelerin eşit olduğu 45° lik yönde olur. Yağlama miktarına göre ikincil şekil değiştirme sıfırdan birincil şekil değiştirme miktarına kadar değişir. Alüminyumla söndürülmüş 0,91 mm. kalınlığında yapılan iki eksenli germe deneyinde maksimum şekil değiştirme % 55 olarak bulunmuştur. Levha kalınlığı arttıkça bu değer üzerine, azaldıkça altına gidilir. Grafikteki çizgiler saçılmaları göz önünde bulundurarak bir bant şeklinde kullanılabilir. Böylece bandın üzerindeki deformasyon değerleri için malzemede hasar görülecek, alt kısımda ise güvenle çalışabilecektir. Bandın kalınlığı malzeme karakteristiğine ve kullanılan teknikteki değişkenlere bağlıdır.

Şekillendirme sınır diyagramındaki birincil şekil değiştirme eksenini, levha kalınlığı ve deformasyon sertleşmesi üssü ' nün bir fonksiyonudur. Bir çok araştırmacıya göre soğuk işleme elde edilen ve 345 Mpa üzerinde akma mukavemetine sahip olan çelikler için deformasyon sertleşmesi üssü ve akma mukavemeti sabittir.

4.9.4 Şekillendirme Sınır Diyagramlarını Etkileyen Parametreler

Kimyasal bileşim, % uzama, numunenin hadde yönüne göre oryantasyonu, inkluzyon etkileşimi ve plastik şekil değiştirme oranı (deformasyon sertleşmesi üssünü etkileyen parametreler) şekillendirme sınır diyagramlarını etkiler.

Ön defomasyona uğratılmış malzemede şekillendirme sınır diyagramı eğrisindeki değişimi anlamak için, bazı araştırmalar yapılmış ve bunun sonucunda çift eksenli gerilmeye maruz kalan bir malzeme için şekillendirme

sınır diyagramı eğrisinin aşağı ve sağa doğru kaydığı tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak çok kademeli deformasyon hakkında bir fikir yürütmek mümkündür. Fakat bu yaklaşım çift yönlü gerilme için böyle olsa da uygulanan gerilmelerin yönü ve oryantasyonu değiştirilirse farklı sonuçlar elde edilecektir.

Malzemeye karmaşık şekiller verildiğinde deformasyon miktarını belirlemek lâboratuar koşullarında yapılan basit testlere oranla çok zordur. Parça basit bir biçimlendirme operasyonunda farklı kademelerde farklı deformasyon değerlerine maruz kalıyor olabilir ya da şekillendirme sınır diyagramı eğrilerinde gösterilemeyen birkaç deformasyon kademesine tabi tutuluyor olabilir. Çelik levhaların şekil alma davranışı deformasyon hızından çok etkilenir. Şekillendirme sınır diyagramı eğrilerindeki deformasyon hızı, üretim kademelerinde olması düşünüldüğü gibi düşük deformasyon hızlarıdır.

Biçimlendirmede kullanılan yağlama miktarı da birincil ve ikincil deformasyon miktarlarını, dolayısıyla aşırı incelme olup olmayacağını veya kırılıp kırılmayacağını etkiler. Bu nedenle yağ çeşidini ya da miktarını değiştirmekle başarılı bir biçimlendirme yapılabilir. Deformasyon sırasında mevcut olan şekil değişimleri, ya biçimlendirmeyi bitirmeden durdurarak ölçülebilir ya da daha önceki deneyimlerden tahmin edilebilir. Şekillendirme sınır diyagramı eğrisinde daha önce belirlenen et kalınlığındaki incelme oranını karşılaştırarak çelik levhanın beklenen karakterde olup olmadığı ve bölgeye uygulanan yükleme konfigürasyonunun malzemenin biçimlendirme kapasitesi içinde olup olmadığı belirlenebilir. Bazı araştırmacılara göre ise yüksek değerlerde R ve sıfıra yakın ΔR değerlerine bakılması ŞSD incelemesinden daha faydalı sonuçlar vermektedir.

5. KALIPÇILIK

Günümüzde kalıpcılık, kullandığımız pek çok parçaların üretiminin gerçekleştirildiği önemli mesleklerden biridir. Özdeş parçaları istenilen toleranslar dahilinde seri olarak üretebilen, malzeme ve enerji tasarrufu sağlayan, insan gücünün asgari düzeyde tutulmasına yardımcı olan ve takım tezgahlarıyla çalışabilen makinelere kalıp, meslek dalına kalıpcılık, uygulanan yöntem ise kalıplama denir. Kalıpcılık kalıp tasarımı, imalatı ve kullanımını da içine alan oldukça geniş kapsamlı bir meslek dalı olmasından dolayı kalıpcılıkta aşağıdaki konular oldukça önemli ve önceliklidir.

- ▶ Teknik resim çizme ve okuma bilgi ve becerisi,
- ▶ Kalıp, kalıp elemanları ve kalıpların çalıştırıldığı tezgahlar hakkında bilgi ve tecrübe,
- ▶ İmalat bilgi ve tecrübesi,
- ▶ Malzeme ve ısı işlem bilgisi,
- ▶ Montaj bilgi ve tecrübesi,
- ▶ Tüm bu aşamalarda bilgisayar teknolojilerinden faydalanabilme kabiliyeti.

Kalıplar ve kalıpcılık 3 temel başlık altında incelenir:

a. Sac metal kalıpcılığı; bir boyutu diğer iki boyutuna göre oldukça düşük olan, sac veya levha olarak nitelendirilen metal, polimer, kompozit gibi malzemelerin kesilerek, delinerek, bükülerek, derin çekilerek veya bunların birden fazlası uygulanarak yarı mamül veya mamül haline getirilmesi işlemidir.

b. Hacim kalıpcılığı; genel olarak verilecek şekil ve boyutlara uygun olarak hazırlanmış hacimlere, şekillendirilecek malzemenin değişik yöntemlerle doldurulması sonucu yapılan şekillendirme işlemidir (döküm, sıkıştırma, enjeksiyon).

c. Bağlama (İş) kalıpcılığı; özellikle seri imalatta parçanın ve/veya takımın tezgaha seri bir şekilde bağlanıp sökülmesini sağlamak için kullanılabilirler gibi imalat ve özellikle kaynaklı montaj işlemlerinde bir çok açıdan kolaylıklar sağlamak amacıyla tasarlanan, imal edilen ve kullanılan aparat ve sistemlerdir.

5.1. Kalıp Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Kalıp tasarım ve imallerinde daha önce benzer işler için düşünülmüş ve uygulanmış çözümlerden faydalanmanın yararları sayılamayacak kadar çoktur. Bu çözümlerin incelenmesi, uygulanan kural ve önerilerin değerlendirilmesi, kalıp tasarımcısının ana uğraşı konusu olmalıdır. Bu sayede edinilecek konstrüktif hafıza kalıp tasarımcısına önüne çıkan problemleri daha kısa sürede ve daha doğru yoldan çözümlene yeteneği kazandırır. Dikkate alınacak örneklerdeki uygulamaların, imali yapılacak parça için mutlaka en uygun çözüm yolu olduğunu kabul etmekte hatalı bir tutum olur. Verilen örnekleri, düşünüldüğü ve yapıldığı zamanki koşullarda akla gelen en uygun çözüm olarak değerlendirmek daha gerçekçi tutum olacaktır. Kalıp konstrüksiyonunun belirli kuralları olmakla birlikte içinde bulunulan ortama göre aynı sonuca götürecek değişik tasarım çözümleri olabilir.

Kalıp hazırlanmasında her konstrüksiyonda olduğu gibi uygulamada kolaylık açısından standart parça elemanları kullanmaya özen gösterilmelidir.

Kalıbın ayar, kullanım, bakım ve onarımının olabildiğince kolay ve masrafsız yapılabilme özelliği tasarımlarda dikkate alınmalıdır. Çabuk aşınacak ve kırılacak parçalar kalıbın tümünü elden geçirmeden kolayca yenilenebilmelidir. Kullanım sırasında ayar gereken kısımlara ve kalıp parçalarına zahmetsizce ulaşılabilmelidir. Deneme sonrası ölçü ve şekil değişikliği yapılabilecek kısımlar olanak ölçüsünde kalıbın ana kısımlarına zarara vermeden ve fazla işçilik gerektirmeden değiştirilebilmelidir.

Bu söylenenlerin yeterince yerine getirilebilmesi uzun deneyler ve gözlemler sonucu kazanılabilecek tasarım yeteneği gerektirir. Denenmiş ve olumlu neticeler alınmış nitelikli tasarımların bilinçli şekilde incelenmesi,

irdelenmesi ve çalışmaların izlenmesi deneme süresinin kısaltılması için başvurulabilecek en etkin yoldur.

5.2. Kalıp Standartları

5.2.1. Kalıp Dizaynı

Bütün kalıpların dizayn hazırlıkları, final durumunda gerekli olacak bilgilerin derlenmesi ile yapılmalıdır. Üretim planlarında geçen operasyon bilgileri doğrultusunda kalıplar dizayn edilir.

5.2.1.1. Ölçek ve Yerleşim Planı :

Kalıplar mümkün olduğunca birebir ölçülerde çizilir. Kalıbın yerleşimi prese yerleşimi ve pres eksenleri göz önünde tutularak yapılmalıdır. Kullanılacak pres seçimini standart preslere göre yapmak gerekir. Eğer kalıp tek başına bir preste çalıştırılacaksa; dengeli kuvvet dağılımı için, kalıp eksenleri pres eksenleriyle çakıştırılıp tam ortasına oturtulmalıdır. Birden fazla kalıbın söz konusu olduğu durumlar da ise kuvvet dağılımları ve kalıp yükseklikleri eşit tutulmalıdır.

5.2.1.2. Ayar ve Başlangıç Ölçüleri :

Otomotiv kaportaları dizaynında kullanılan koordinatlardan hareket ederek parça kalıp üzerine yerleştirilir. Başlangıç noktası belirlenip, kalıbın bütün ölçüleri buna göre verilir. Plan ve kesit resimlerinde de başlangıç noktası verilir.

5.2.1.3. Üretim Planları (Operasyon Planları) :

Üretilecek her bir parçanın kaç operasyonda olacağı ve kalıbın çalıştırılacağı presler ile kesme ve form kuvvetleri gibi bilgiler üretim planlarında kayıtlıdır. Kalıp dizaynı da bu bilgiler göz önüne alınarak yapılır.

5.2.1.4. Emniyet ve İş Güvenliği :

Kalıplar dizayn edilirken, kendine özgü karakteristik dayanımı, preste çalışacak operatörün iş güvenliği, kalıbın taşınması, montajı, demontajı, bakımı ve stoklanması sırasında kullanım rahatlığı göz önünde tutulmalıdır.

5.2.1.5. Yükleme ve Boşaltma :

Dizayn başlangıcında kalıbın prese yüklenmesi, presten boşaltılması ve stok yerine alınması düşünülerek gerekli işler yapılır.

5.2.1.6. Kalıp Test ve Alıştırma Presinin Seçimi :

Kalıp mekanik atölyelerde üretilirken final duruma getirilinceye kadar yapılacak kalıp alıştırma ve test işlemleri, kalıp alıştırma presinde yapılır. Alıştırma presinin yeterli olmadığı durumlarda pres atölyesinde bulunan herhangi bir pres alıştırma işleminde kullanılır.

5.2.1.7. Kalıp Ağırlıkları :

Dizayn sırasında kalıp detay ve kompleksinin ağırlıkları malzeme listesinden belirlenir. Özellikle döküm olan kalıp parçalarının ağırlıklarının önceden bilinmesi planlama, ticaret ve nakliyat birimlerine yardımcı olur.

5.2.1.8. Kalıbın Çalıştırılacağı Presin Seçimi :

Kalıplar tek veya çift etkili mekanik veya hidrolik preslerden herhangi birinde çalıştırılabilir. Kalıp daha dizayn çalışmalarında iken presler belirlenir ve buna göre çizilip boyutlandırılır. Bu bilgiler üretim planlarında derlenmiş haldedir.

5.2.1.9. Hurdaların Akma ve Alınma Önlemi :

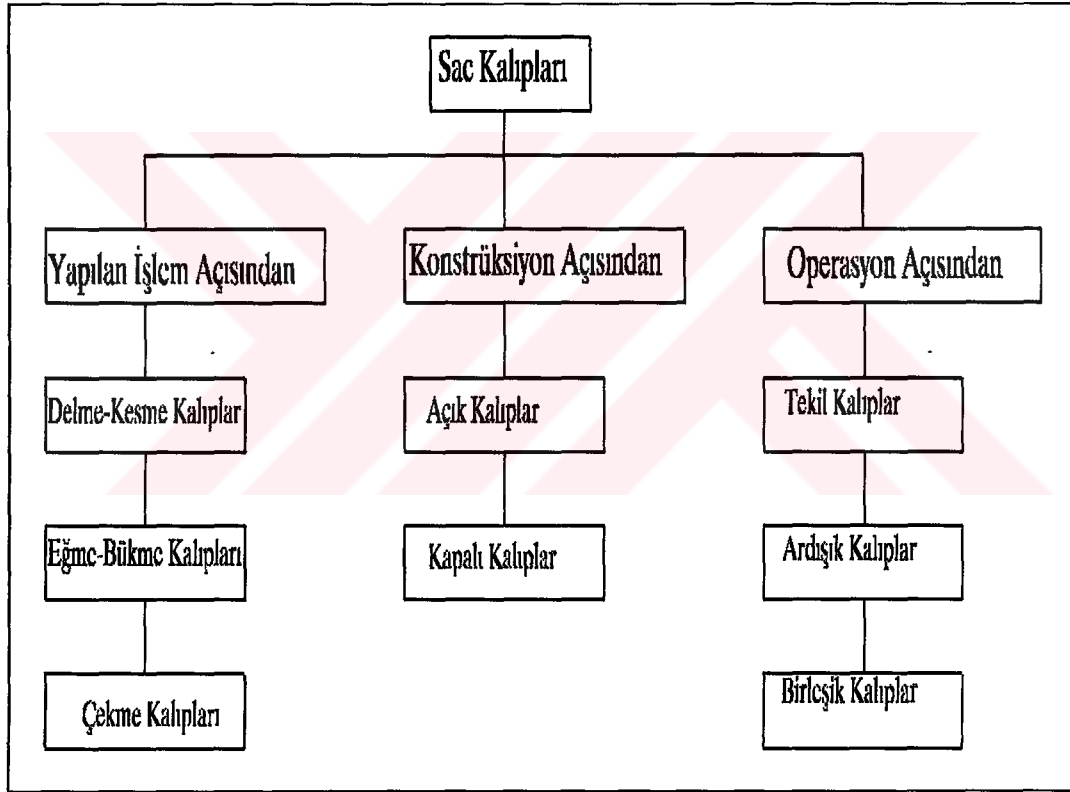
Genellikle kesme ve delme kalıplarında işlem parçasından arta kalan hurdalar ya presin altına akıtılır ya da presin yanlarında bulunan oluklara (konveyör) düşürülür. Kalıbın dizaynında dikkat edilmesi gereken bu hurdaların kalıptan rahatça akacak şekilde olmasıdır.

5.2.2. Kalıplar

Sac şekillendirme kalıpları, metal malzemelere form vermek amacı ile kullanılırlar. Sac şekillendirme kalıpcılığında yapılan işlemler kısaca, metal malzemenin plastik sınırlar içerisinde şekillendirilerek ürün sınırlarından kesilmesi şeklinde açıklanabilir. Kalıp dizaynından önce, üretilecek parçanın operasyonları ve ondan sonra kalıbın çalıştırılacağı pres belirlenmelidir.

Sac kalıpları, kalıpta yapılan işlem, kalıbın konstrüksiyonu ve parçanın kalıpta imalatında uygulanan operasyonlar gibi farklı parametreler esas alınarak çizelge 5.1 deki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 5.1 Sac Kalıpların Sınıflandırılması



Açık kalıplarda zımba grubunun hareket yörüngesi matris gurbundan bağımsızdır. Zımbanın hareket yörüngesi, presin kızakları tarafından belirlenir ve dolayısıyla hassasiyet büyük ölçüde prese bağlıdır. Çalışma esnasında

sallanmalar ve dolayısıyla zımba ile matrisin çarpışmasını önleyebilmek için zımba, zımba tutucuya sıkı geçirilir. Tasarımları kolay ve maliyetleri düşük olduğu için hassas olmayan, geniş toleranslı ve az sayıdaki parçaların imalatında kullanılır.

Kapalı kalıplarda ise, zımba grubunun matris grubuna göre hareket yörüngesi, kalıba ilave edilen özel elemanlar tarafından belirlenir. Zımba grubunun matris grubundan ayrılmadan çalıştığı kalıplardır. Klavuz plakalı, klavuz milli ve klavuzplakalı(sıyırıcı olarak görev yapar)-klavuz milli olarak tasarlanabilirler. Anlaşılacağı üzere bu kalıplar dar toleranslı parçaların imalinde kullanılan ve maliyetleri açık kalıplara nazaran daha yüksek ve tasarımları daha karmaşık olan kalıplardır.

5.2.3. Kalıp Elemanları

Kalıp elemanlarının çoğu standartlaştırılarak kalıpcıların kolayca kullanabileceği biçim ve boyutlarda üretilmektedir. Standart kalıp elemanları kullanılarak kalıp tasarımcılarının ve yapımçıların karşılaşılabilecekleri güçlükler giderilmiştir. Standart kalıp elemanlarının sağladığı faydaları şöyle sıralayabiliriz.

- ▶ Standart kalıp elemanlarının yapımı kolay ve maliyeti azdır,
- ▶ Kalıp yapım süresini kısaltarak, kalıbın kısa sürede yapılmasını sağlar,
- ▶ Standart kalıp elemanlarının yapım resimleri ve ölçüleri üretici firma katalogunda belirtildiği için, kalıp tasarımcısı kısa zamanda kalıbın diğer elemanlarını hazırlar,
- ▶ Kalıp elemanlarının bakımı, onarımı ve kendi aralarındaki eleman değişimi çok kolaydır,
- ▶ Kalıp yapımçısının daha az bilgi ve beceriyle sonuca gidebilir.

5.2.3.1. Dişi kalıplar (matris) :

Dişi kalıplar suda, yağda ve havada sertleşebilen karbonlu veya alaşımlı çeliklerden yapılırlar. Bu çelikler, çekme dayanımları 40 kg / mm² nin üzerindeki malzemelerdir. Kalıplanacak parçanın biçimine göre dişi kalıplar tek veya parçalı olarak yapılırlar. Dişi kalıpların parçalı yapılmalarının nedenleri şunlardır:

- ▶ Boyutları çok büyük dişi kalıplar tek parçadan yapılamazlar,
- ▶ İşlenmesi zor olan dişi kalıplar çok parçalı yapılırlar,
- ▶ Çok sayıda olan küçük parçaların üretilmesinde kullanılan dişi kalıpların montajında kolaylık sağlanır ve maliyeti azaltır,
- ▶ Değişik kalıplama işlemlerinde bir kalıptan diğerine uygulanışı kolaydır,

Küçük ve orta büyüklükteki dişi kalıpların boyutlar daha önceden denenmiş ve uygulanmış değerlerden faydalanılarak bulunur. Daha büyük boyutlu dişi kalıplar için dayanım hesabı yapılır ve ölçüleri tespit edilir. Küçük ve orta büyüklükteki dişi kalıplar, kalıplanacak parçanın biçimine göre üç gruba ayrılır.

- ▶ Kalıplama deliği yuvarlak olan dişi kalıplar,
- ▶ Kalıplama deliği düzgün kenarlı dişi kalıplar,
- ▶ Kalıplama deliği keskin kenarlı olan dişi kalıplar.

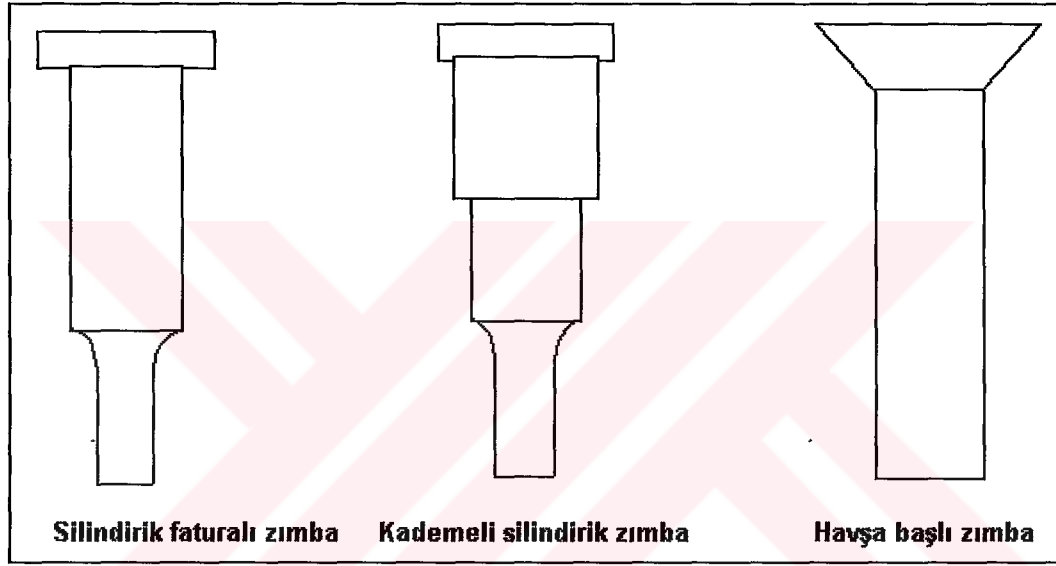
5.2.3.2. Zımbalar :

Zımbalar kullanma yerlerine ve amaçlarına göre değişik biçim ve boyutlarda yapılırlar. Zımbalar, plakalara montaj şekillerine göre sınıflandırılır.

- ▶ Kademeli silindirik fatura başlı zımbalar,
- ▶ Kademeli düz silindirik başlı zımbalar,

- ▶ Havşa başlı zımbalar,
- ▶ Değişik tip ve profildeki zımbalar.

Kademeli silindirik fatura başlı zımbalar, genellikle delme ve kesme kuvveti fazla olan kalıplarda tercih edilir. Kademeli düz silindirik başlı zımbaların zımba plakasına montajı, yay baskılı bilye yardımıyla olur. Bu zımbalar, delme kuvveti az olan kalıplarda kullanılır. Havşa başlı zımbalar ise düz silindirik başlı zımbalarda olduğu gibi delme ve kesme kuvveti az olan küçük boyutlu kalıplarda kullanılır (şekil 5.1).



Şekil 5.1 Zımba çeşitleri

5.2.3.3. Sıyırıcı (Zımba Kılavuz) Plakaları :

Sıyırıcı plakalar, şerit iskelet malzemeyi ayırmada ve aynı zamanda zımba kılavuz plakası olarak kullanılmaktadır. Sıyırıcı plakalar, bazen şerit malzemeye yan- kayıtlık görevi yaparlar. Bu yüzden sıyırıcı plakalar yaptıkları görev bakımından şu amaçlar için kullanılabilirler .

5.2.3.4. Yan Kayıtlar :

Yan kayıtlar, şerit malzemenin kalıp içerisindeki ilerleme yönünü kontrol eder. Kapalı kalıplarda iki, yarı açık kalıplarda tek yan kayıt kullanılır. Yan kayıt kalınlıkları dayamalı veya yarı açık kalıplara göre tespit edilir. Yan çakılı kalıplarda, yan kayıtlardan biri dayama görevi yapar. Dayama görevi yapan yan kayıtın kalıp giriş ağzındaki kısmı, yan çakı kesme payı kadar azaltılır. Dayamalı kalıplarda her iki yan kayıta şekil değişimi yapılmaz. Açık kalıplarda yan kayıt kullanılması gerekiyorsa, yan kayıtlar plaka veya dayama şeklinde yapılır.

Açık kalıplarda, şerit malzeme ilerleme yönünün değişmesi için kullanılan plaka veya dayama tipi yan kayıt kalınlıkları, şerit malzeme kalınlığının 3/4 'ünden fazla olmamalıdır.

5.2.3.5. Dayamalar :

Sac metal kalıpcılığında, şerit malzemeyi kalıp içerisinde istenilen konumda durdurmaya yarayan kalıp elemanlarına dayama denir. Kalıplama işleminde şerit malzeme, her parça üretiminden sonra ilerletme yönünde adım kadar kalıp içerisinde sürülür. Ancak bu ilerletme göz kararı veya tahmini olarak yapılamaz. Şerit malzeme adım kadar ilerletildikten sonra, ikinci veya daha sonraki üretilecek parçalar için belli bir konumda durması veya durdurulması gerekir. Bu durdurma işlemi dayamalar yardımıyla olur. Dayamalar üretilecek parça sayısına, biçimine ve ölçüsüne, üretimi yapan kalıba, üretimde kullanılan pres tezgahı ve üretim safhalarına göre tasarlanır. Sac metal kalıpcılığında kullanılan dayamalar şu şekilde sınıflandırılır :

► Basit Dayamalar

- Sabit pim dayama,
- Yay baskılı pim dayama,
- Elle itmeli veya çekmeli parmak dayama,
- Manivela tipi dayama,

- Eksantrik muylu dayama,
- Yan çakılar
- ▶ Otomatik dayamalar
 - Mekanik kumandalı otomatik dayamalar,
 - Hidrolik ve pnömatik kumandalı otomatik dayamalar

Sabit pim dayamalar, genellikle üretim sayısı az ve hassas olmayan parçaların üretilmesinde kullanılan kalıplara uygulanır. Yapımı ve kalıba montajı kolay olan pim dayamaların dişi kalıp üzerindeki yerleşim planı ayarlayabilmek zordur. Çünkü, kalıp deliği ile pim deliği arasındaki uzaklık az olduğu zaman, ısı işlemde dişi kalıp çatlar. Kalıplanacak parça üzerinde birden fazla işlem varsa, üretilen ilk veya ikinci parça tam olarak kalıplanamaz. Bu durumda her şerit malzemedен birkaç parça boşa kalıplanmış olur. Ayrıca her kalıplama işleminden sonra şerit malzemenin iskelet kısmı dayama üzerinden atlatılması gerekir. Sabit pim dayama deliğini, kalıp deliğinden uzak tutabilmek için dayamanın ucu (L) şeklinde bükülür. Bu suretle dişi kalıbın ısı işlemde çatlaması önlenmiş olur.

5.2.3.6. Bağlama Cıvataları :

Kalıp elemanlarının montajında en çok silindirik, havşa, mercimek başlı cıvatalarla altı köşe oyuk başlı cıvatalar kullanılır. Bu tip bağlam elemanlarının kolay takılıp sökülebilir olması, kalıp parçalarının değiştirilmesinde ve montajında çabukluk sağlar.

5.2.3.7. Yaylar :

Yay gerildiği zaman enerji depo edebilen ve serbest bırakıldığında germek için sarf edilen enerjiyi aynı miktarda geri veren bir makine elemanıdır. Kalıpcılıkta en çok kullanılan yaylar basınç, çekme ve burulma yaylarıdır. Yay yapımında kullanılan tel kesiti dairesel, kare ve dikdörtgendir. Yaylar genellikle baskı plakalı delme, kesme, bükme, çekme vb. kalıplarda kullanılır.

5.2.3.8. Kauçuklar, Sert lastikler :

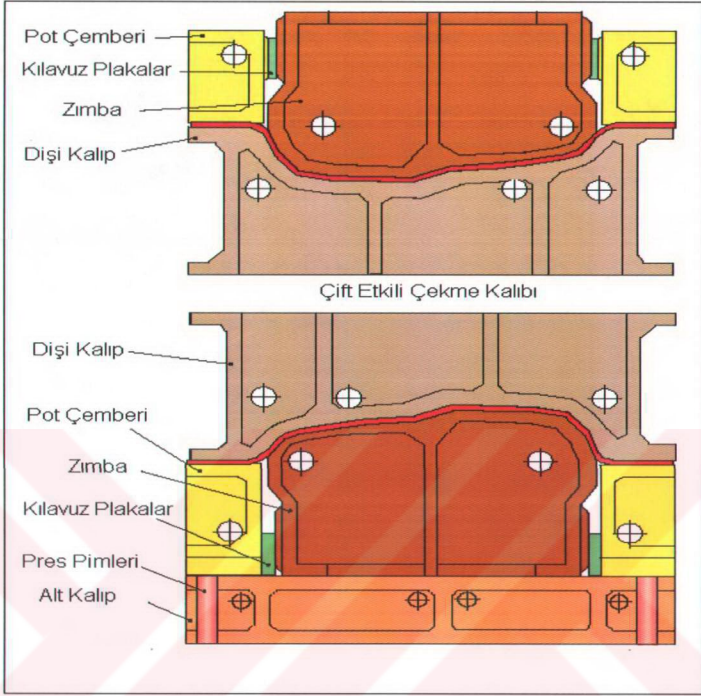
Üretim sayısı düşük küçük tonajlı delme, kesme, bükme, çekme vb. kalıplarda kauçuk (lastik) baskılı sıyrıcı veya baskı plakaları kullanılmaktadır. Aynı zamanda bükme kalıplarında dişi kalıp, şişirme kalıplarında zımba olarak kullanılan kauçuk kalıp elemanları,kolayca şekil değiştirmekte ve kalıp açıldığı zaman eski konumuna gelebilmektedirler.

5.2.4. Çekme Kalıpları :

Sac malzemenin plastik şekil değiştirebilme (süneklik) özelliğinden faydalanılarak plastik sınırlar içerisinde istenilen şekillendirme işleminin gerçekleştirilmesidir. Prensipte olarak, bastırıcı bir piston veya ıstampa ile istenilen şeklin verileceği sac taslağın bir kalıp içerisine çekilerek şekillendirilmesi olarak tanımlanır. Derin çekme işlemlerinde kullanılan çelikler düşük karbonlu çelikler olup, otomotiv, havacılık, beyaz eşya, gıda ve silah sanayiinde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Şekil 5.2 de tek ve çift etkili çekme kalıpları görülmektedir.

İyi bir çekme kalıbı tasarımının yapılabilmesi için tasarımı yapan kişinin, çekme kalıpcılığı konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahip olması ve aşağıdaki işlem sırasını göz önünde bulundurması gerekir.

- I. Çekilmesi gereken kalıbın tasarımı,
- II. İşlem safhalarının planlanması,
- III. Çekme kalıplarının tasarımı,
- IV. Çekme işlemini gerçekleştirecek pres tezgahının seçimi,
- V. Daha önce yapılmış çekme kalıplarının yapım yöntemleri ve çalışma prensiplerinin incelenmesi,
- VI. Üretimle ilgili doğabilecek bütün problemlerin çözümüne yardımcı olabilecek bilgilerin toplanması.



Şekil 5.2 Çift ve tek etkili çekme kalıbı

Çekerek biçimlendirme işlemini iki gruba ayırabiliriz ;

- I. Sığ Çekme : Çekme derinliğinin az olduğu ve genellikle tek operasyonda gerçekleştirilebilen çekme işlemidir.
- II. Derin Çekme : Birden çok çekme işlemiyle elde edilen iş parçasıdır. Derin çekmenin yapılış nedeni ; bir tek çekme işlemiyle istenilen parçanın elde edilememesidir. Yani parçanın derinliğini artırmak ve kesit ölçülerini küçültmek için yapılan tekrar çekme işlemi olarak tanımlanabilir.
- III. Çekme Yarıçapı : Çekme kalıbının üst yüzeyi ile çekme kalıp deliğinin yan yüzüne teğet olan yarıçap olarak tanımlanır. Malzeme bu yarıçaptan geçerek biçimlendirilir.

Bir çekme kalıbının konstruksiyonuna etki eden faktörler ;

- I. Çekilecek parçanın kalınlığı,
- II. Çekilecek parçanın malzeme kalitesi,
- III. Çekilecek parçanın ebatları,
- IV. Üretilecek parça sayısı,
- V. Kullanılacak olan presin tipi,
- VI. Kalıp malzemesinin cinsi,
- VII. Üretilecek olan parçanın hassasiyeti.

5.2.4.1. Çekme Kuvveti :

İstenecek parçayı meydana getirmek için malzeme üzerine uygulanması gereken kuvvettir. Çekme kuvveti aşağıdaki parametrelere bağlıdır;

- I. Zimba büyüklüğüne,
- II. Parçanın açınım boyutlarına,
- III. Malzeme kalınlığına,
- IV. Malzemenin çekme mukavemetine,
- V. Çekme boşluğuna,
- VI. Çekme hızına,
- VII. Çekme kavislerinin büyüklüğüne,
- VIII. Çekme takımlarının yağlama durumuna,
- IX. Çekme oranına,
- X. Çekme derinliğine,

XI. Çekme takımlarının yüzey durumuna.

Çekme kuvvetinin bulunması, parçanın silindirik, dikdörtgen veya karesel oluşuna göre değişmektedir. Ancak parça üzerinde form yoksa bu formüller kullanılabilir. Formlu parçalar için bunların sonuçlarından ve tecrübeye dayalı bir takım verilerden hareketle parçanın operasyonlarına, uygulanacak çekme kuvvetine, yırtılma oluşabilecek bölgelere karar verilebilir. Aşağıda bu standart parçaların çekme kuvvetinin ve operasyonlarının nasıl karar verileceğine dair açıklamalar yer almaktadır:

- Silindirik Parçalar İçin Çekme Kuvvetinin Hesaplanması :

$$F \geq \Pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma \cdot K$$

F : çekme kuvveti (N)

d : zımba çapı (mm)

s : sac kalınlığı (mm)

σ : çekme mukavemeti (N/mm²)

k : çekme oranına ($m=d/D$) bağlı olan düzeltme faktörü

M	0,55	0,576	0,6	0,626	0,66	0,676	0,7	0,72	0,75	0,775	0,8	0,825	0,85	0,876	0,9	0,925	0,95
K	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1

- Dikdörtgen parçalar için çekme kuvvetinin hesaplanması :

$$F \geq (2A + 2B - 1,72r) \cdot \sigma \cdot s \cdot k$$

P : çekme kuvveti (N)

A : zımbanın uzun kenarı (mm)

B : zımbanın kısa kenarı (mm)

r : kenarların birleşme yerindeki yarıçap (mm)

σ : çekme mukavemeti (N/mm²)

s : sac kalınlığı (mm)

k : çekme oranına bağlı olarak düzeltme faktörü

- Karesel parçaların çekme kuvvetinin hesaplanması :

$$F \geq (4A - 1,72r) \cdot \sigma \cdot s \cdot k$$

5.2.4.2. Baskı Plakası (Pot Çemberi) :

Malzemenin ondülasyonuna (kırışmasına) mani olmak için, baskı plakası (sacı tutma plakası veya pot çemberi) denilen kalıp elemanları kullanılır. Sac parça, bu plakalar tarafından kalıp üzerinde sıkıştırılır. Sacı tutma kuvvetinin büyüklüğü, parçanın kırışksız çıkmasını sağlayacak seviyede olmalıdır. Bu kuvvet büyük olursa parçanın tehlikeli kesitinden, bilhassa dip radyüslerinden veya flange kısmından yırtılması gibi, istenmeyen durumlar ortaya çıkar. Zira bu durum, çok büyük akma direncinin doğmasına sebep olur. Bu kuvvetin küçük olması halinde ise, ondülasyon (kırışıklık) teşekkülüne yol açar. Bu nedenlerden ötürü sacı tutma kuvvetinin mutlaka hesaplanması gerekir.

Baskı plakalı çekme kalıpları , bilhassa kalınlığı 2,5 mm den küçük olan saclara uygulanır. Şayet çekim yüksekliği büyük ve kırışksız bir çekim isteniyorsa, baskı plakası kullanılması gerekir.

Baskı plakası, çekim esnasında malzemenin akmasını sınırlar ve kontrol eder. Bunun sonucu olarak da malzemede meydana gelmesi muhtemel olan kırışıklıklar ortaya çıkmaz.

Baskı Plakası Tipleri :

- I. Sabit baskı plakaları,
- II. Yay, lastik, basınçlı hava veya sıvı ile hareket ettirilen baskı plakaları (tek etkili presler için)

III. Çift etkili preslerde kullanılan mekanik baskı plakaları,

IV. Hidrolik sistemle hareket ettirilen baskı plakaları.

Yayla hareket ettirilen baskı plakaları, bilhassa tek etkili preslerde kullanılırlar. Bu tip baskı plakaları, çekim yüksekliği az olan parçalarda kullanılması uygun olur. Zira, çekim yüksekliği büyük olursa , yay daha çok basılacağından , baskı plakası kuvveti de çoğalır. Şayet yaylar hesapsız ölçü ve sayıda olursa , anormal bir takım durumlar ortaya çıkabilir.

Yaylı baskı plakaları, düz çalışan kalıplarda olduğu gibi , ters çalışan kalıplarda da kullanılırlar.

Yayların yerine lastik takozların da kullanılması mümkündür. Basıncılı hava ve hidrolikle çalışan baskı plakaları, daha üstün olurlar. Zira basıncın ayarlanması mümkün olduğu gibi , bütün çekme operasyonu boyunca da aynı kalır.

Yayla hareket ettirilen baskı plakalı kalıpta işlem sıraları;

I. İşlem :

Açınım üzerine, pres aşağı inerken ilk önce baskı plakası basar.

II. İşlem :

Presin aşağı inişi devam ettikçe, yaylı baskı plakası da parçayı her an artan bir baskı kuvveti ile sıkmaya devam eder. Yaylı baskı plakası geri yaylanamayacağından, sabit olarak üst gruba tespit edilmiş olan zımba, baskı plakasının içinden çıkarak, parçaya dokunur.

III. İşlem :

Presin aşağı inişi devam etmekte, dolayısıyla da zımba parçayı kalıp radyüsleri üzerinden, dişi kalıbın boşluğuna sürüklenmektedir. Bu arada parçanın çapı, her an küçülmektedir. Eğer flanşsız çekme isteniyorsa zımba,

flanş ortadan kalkana kadar inmeye devam eder. Eğer flanş isteniyorsa , çekme derinliğini sınırlamak gerekir. Bu da stoperler sayesinde gerçekleştirilir.

IV. İşlem :

Çekme işlemi bittikten sonra, presin geri kursu başlar. Zimba yukarı giderken, yaylı baskı plakasının alt grup üzerine olan baskısı devam eder, dolayısıyla zimbaya takılıp, yukarı gitmekte olan iş parçasının gidişine engel olunur. Böylece baskı plakası, aynı zamanda iş parçasının zimbadan ayrılmasını da sağlar.

- Çift Etkili Preslerde Kullanılan Baskı plakaları ;

İlkin çift hareketli preslerin nasıl çalıştığını bilmek gerekir. Bu tip presler iç içe yerleştirilmiş iki kızağa sahiptirler.

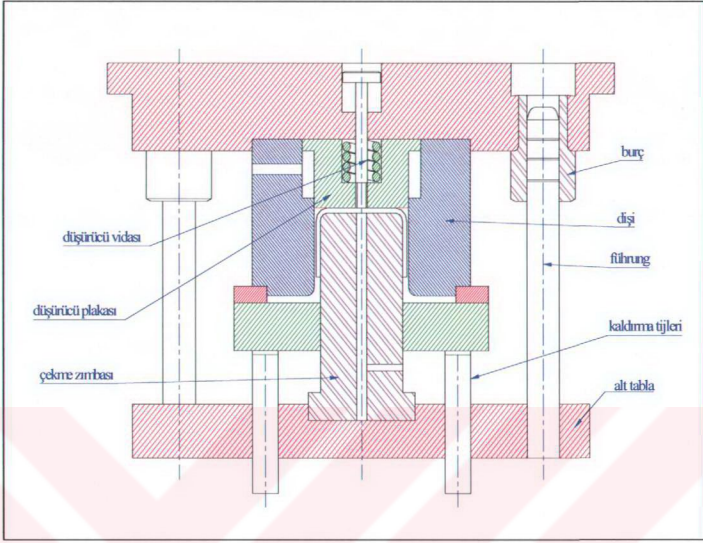
Çift hareketli presteki dış kızak, baskı plakasını, iç kızakta zimbayı hareket ettirir. İç kızak zimbayı, çekmeyi gerçekleştirebilmesi için aşağı itmeye devam ederken, dış kızak da malzeme üzerine belirli bir baskı yaparak durur. Bu baskı kuvveti istenen miktar kadar ayarlanabilir.

Çekim bittikten sonra, kızaklar yukarı hareket ederler. Parçanın zimbadan ayrılması bu esnada gerçekleşmiş olur. İlk önce iç kızak, daha sonra da dış kızak hareket ettiğinden, ayrılma işlemi, bundan önceki boydan boya itmeli kalıplarda da olduğu gibi gerçekleşir.

- Baskı Plakasının Hidrolik Sistemle Hareket Ettirilmesi ;

Bunlar bilhassa hidrolik preslere bağlanan, ters çalışan kalıplarda uygulanır (şekil 5.3). Çekme kalıbı olarak en çok kullanılan kalıp tipinin, ters çalışan kalıp tipidir.

Çekilen parçanın zimbadan rahatlıkla ayrılabilmesi için, zimbanın yan yüzeylerinin gayet iyi işlenmesi gerekir. Bu şekilde anormal sürtünmeler ortadan kaldırılmış olur. Bu durum yalnız ayırmak için değil, aynı zamanda iyi bir çekmenin gerçekleşmesi için de gereklidir.



Şekil 5.3 Hidrolik sistemle hareket ettirilen ters çekme kalıbı

- I. Zımbanın işleme yönünün, kendi düşey eksenine paralel olması gerekir.
- II. Zımba ve diş üzerinde hava deliklerinin açılması kesinlikle unutulmamalıdır.
- III. Baskı plakası iç çapı, zımba ile kaygın geçme olarak alıştırılmalıdır. Boşluk kesinlikle olmamalıdır. Zira normalin üstündeki bir boşluk, baskı plakasının sağa veya sola oynamasına yol açar. Bu durum zımba ile olan eşmerkezliliğini yok ederek sapmaların meydana gelmesine sebep olur. Eşmerkezliliğin, parçanın çarpık veya bir tarafının yırtılması gibi anormal durumlar yaratabilir.
- IV. Zımba yüzeyinin gayet iyi bir şekilde işlenmesi gerekir. Bu yüzeyle çalışacak olan baskı plakası iç yüzeyinin de gayet iyi işlenmesi gerekir. Bu şekilde sürtünme, en az duruma indirilmiş olur.

- V. Baskı plakasının üst yüzeyinde oldukça büyük bir aşınma meydana geleceğinden, bu yüzey gayet iyi bir şekilde işaretlenmeli ve sertliği de 60 HRc sertliğinde olmalıdır. Çok iyi bir çekmeyi gerçekleştirebilmek için, baskı plakasının sert bir krom tabaka ile kaplanmaları tavsiye olunmaktadır.
- VI. Baskı plakasının yatay durumunu bozmamak için, itici tijlerinin boylarının çok hassas bir şekilde ve birbirlerine tam eşit yapılmalıdır. Eğer sac tutucusunun yatay duruşu bozulursa, çekme zımbasını eğmeye zorlayabilir.
- VII. Bir hidrolik sistemle hareket eden sac tutucu, ters çalışan kalıplarda aynı zamanda parçanın zımbadan ayrılmasını da sağlar (yayla hareket eden baskı plakalarında olduğu gibi).
- VIII. Baskı plakası tarafından zımbadan sıyrılan çekilmiş iş parçası, dişi kalıbın boşluğunda kalır. İş parçasının dişi kalıptan düşürülmesi, yay, lastik, hava v.s olduğu gibi eksantrik preslerde düşürücü çubukla da gerçekleştirmek mümkündür.

• Baskı Plakası Kuvvetinin Bulunması :

Baskı plakası kuvveti çizelge 5.2 yardımı ile kaba olarak hesaplanabilir. Ayrıca geliştirilen formüller ve diyagramlar ile de bu kuvveti yaklaşık olarak hesaplamak mümkündür(Ataşimşek 1977).

Çizelge 5.2 Sac kalınlığına göre baskı plakası kuvveti hesabı

Sac kalınlığı (mm)	Baskı plakası kuvveti (N)
0,5 ' in altındaki kalınlıklar için	$F_n = 0,4.F$
0,5 – 1	$F_n = 0,3.F$
1,1 ve daha büyük kalınlıklar için	$F_n = 0,25.F$

F = çekme kuvveti

Bütün parçalar için :

$$F = (A_p - A_s) \cdot F_p$$

$$F_p = 0,25 [(\beta - 1)^2 + 0,5d/100s] \cdot \sigma$$

P_n : baskı plakası basıncı (N)

A_p : çekilecek parçanın açınım alanı (cm²)

A_s : zımbanın alanı (cm²)

F_p : spesifik yüzey basıncı (N/cm²)

β : çekme oranının tersi (D/d)

- Baskı plakasız çekme kalıplarında ;

F = çekme kuvveti (N)

D = çekilecek kap malzemesinin ilk çapı (mm)

d = çekme çapı (mm)

s = sac malzeme kalınlığı (mm)

C = sabit sayısı (0,6 – 0,7)

σ = sac malzemenin çekme mukavemeti (N / mm²)

$$P = [\sigma \cdot \pi \cdot d \cdot s (D / d - C)] (N)$$

Baskı plakasız çekme kalıplarında (D / d - C) = 1 alındığında çekme kuvveti formülü aşağıdaki gibi olur.

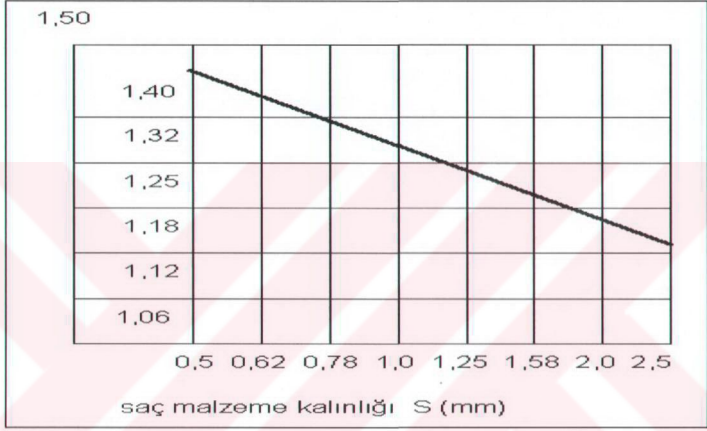
$$F = \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot s (N)$$

Baskı plakalı çekme kalıplarında çekme kuvveti, baskı plakası kuvveti kadar artırılır. Bu da aşağıdaki formülle bulunur.

Toplam çekme kuvveti;

$$F_T = F \cdot X_1 \text{ (N)}$$

X_1 : çekme kuvveti faktörü (şekil 5.4)



Şekil 5.4 Çekme kuvveti faktörünün diyagram ile bulunması

Baskı plakası kuvveti ayrıca bulunup çekme kuvvetine ilave edilir. Bunun için aşağıdaki çizelgeden birim yüzey baskı gerilimi bulunur. Baskı yüzey alanı ile çarpılır. Sonra çekme kuvveti ilave edilerek esas pres kuvveti bulunmuş olur.

$$\text{Baskı kuvveti (N)} = F_b = \pi / 4 (D^2 - d^2) \cdot q \text{ (N)}$$

D = çekilecek kabın açınım çapı (mm)

d = çekme çapı (mm)

q = birim yüzey baskı gerilimi (N/mm²)

Çekme kuvvetine baskı plakası kuvveti ilave edildiğinde toplam çekme kuvveti veya pres kuvveti bulunur ve aşağıdaki formülle gösterilir.

Toplam çekme kuvveti $F_T = F + F_b$ (N)

Dişi kalıp ve zımbaların sert metalden yapılmasıyla , kalıp ömrünün artışı sağlanmaktadır. Ancak kalıp maliyetini azaltmak amacıyla dişi kalıbın ve ayrıca zımbanın tamamı sert metalden yapılmaz. Zımba gövdesi ve dişi kalıp çerçevesi çelik malzemeden yapılır. Çekme kalıplarında kullanılan sert metal dişi kalıba çekme bileziği de denir. Çekme bileziği ağız biçimleri çekme durumuna göre profilendirilir.

Sert metalden yapılan dişi kalıp ve zımba ucu kavis yarıçapı, normal çelik malzemeden yapılan dişi kalıp ve zımba ucu kavis yarıçapı gibidir. Genellikle zımba ucu kavis yarıçapı 4s ila 7s , dişi kalıp kavis yarıçapı da 5s ila 10s arasında seçilebilir. Zımba ucu veya dişi kalıp kavis yarıçapının çok az seçilmesi, zımba ucunda veya dişi kalıp ağzında kırılmalara sebep olmaktadır.

5.2.4.3. Baskı Plakasız Çekme Kalıpları :

Bu tip çekme kalıplarına boydan boya itmeli basit çekme kalıpları da denir. Bunlar daha ziyade kalın saclara (4mm.nin üstünde) veya ince veya sığ parçalara uygulanır (şekil 5.5). Bu tip kalıplarda parçanın deforme olmadan (kırıksız) çıkabilmesi için, çekme oranı;

$$m = d / D = 0,85 - 0,9 \text{ olmalıdır.}$$

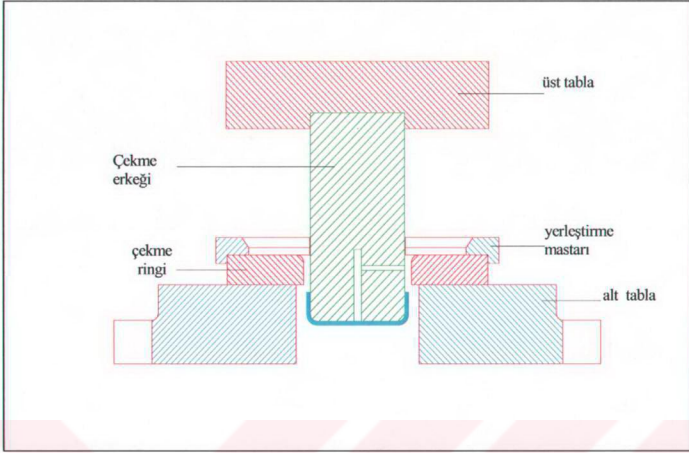
Baskı parçasız çekmelerde en büyük çekme derinliği "OEHLER" aşağıdaki ampirik formüle açıklamıştır.

$$h = 0,3 \cdot d \cdot \sqrt{s}$$

$$h = \text{çekme yüksekliği} \quad (\text{mm})$$

$$d = \text{çekme zımbası çapı} \quad (\text{mm})$$

$$s = \text{sac kalınlığı} \quad (\text{mm})$$



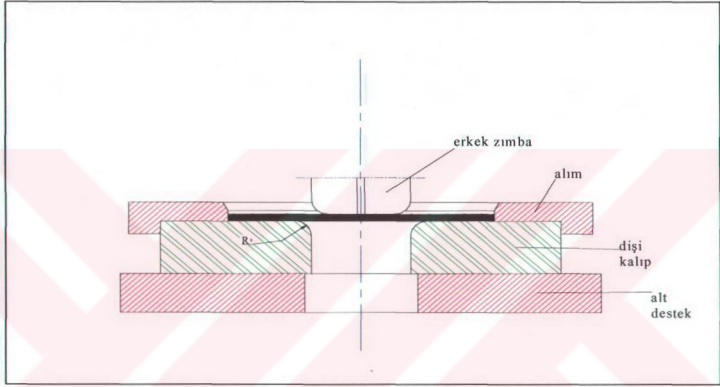
Şekil 5.5 Baskı plakasız basit bir çekme kalıbı

- Yerleştirme mastarı deliği çapı, iş parçası malzemesi için tutuk geçme temin etmelidir.
- Yerleştirme mastarının deliğinin kalıp deliği ile eş merkezli olarak yapılması şarttır. Zira iş parçası malzemesinin eksantrik duruşu, çarpık veya bir tarafı yırtılmış iş parçalarının meydana gelmelerine sebep olur.
- Zımbanın üzerinde bir hava deliğinin bulunması şarttır. Çekme işlemi bitip zımba yukarı çıkarken, iş parçasının çekme ringinin alt yüzüne takılması, dolayısıyla da zımbadan ayrılmasının başarılı olabilmesi için hava deliği muhakkak şarttır.
- Baskı plakasız bir kalıpta elde edilen iş parçasının kenarları, baskı plakalı bir kalıpta elde edilen aynı iş parçasından daha az düzgün olur.
- Çekilen parçanın çekme derinliği arttıkça kenar düzgünlüğü azalır.

Baskı Plakasız Çekme Kalıplarında Çekme Adımları :

1. Adım :

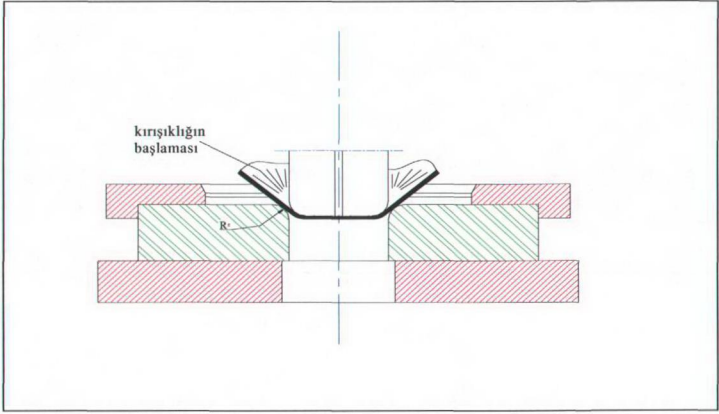
İlk çekme işleminde, çekilecek biçim kap boyutlarına uygun şerit malzeme veya yuvarlak sac malzeme hazırlanır. Hazırlanan yuvarlak sac malzeme kalıp içerisine yerleştirilir. Yerleştirme masterına yerleştirilmiş olan açınım durumundaki parçaya zımba henüz aşağı inip dokunmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Zımba-açınım teması

2. Adım :

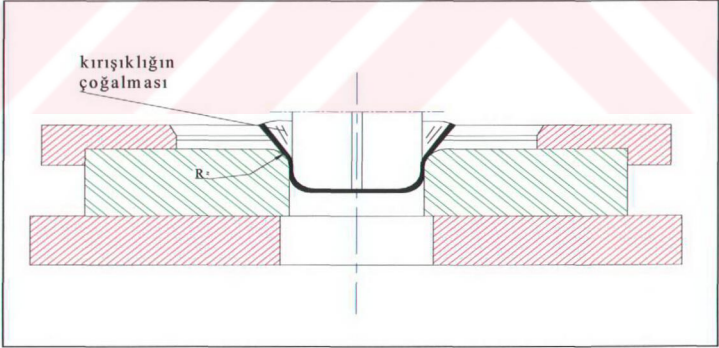
Zımbanın aşağı inmesi devam etmekte ve açınım durumundaki düz malzemeyi, dişi kalıp deliğine R_z radyüsünün üzerinden çekmektedir. Çekilmekte olan malzeme zımbaya, karşı tepkime gösterir. Malzemenin çekme radyüsünü çeken kısımlarında çekme gerilmesi meydana gelir. Dış çevresi merkez yönüne çekilir ve ölçüsü küçülmeye başlar. Bu durumda malzemede deformasyon (kırışma) meydana gelmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Kırışmanın oluşumu

3. Adım :

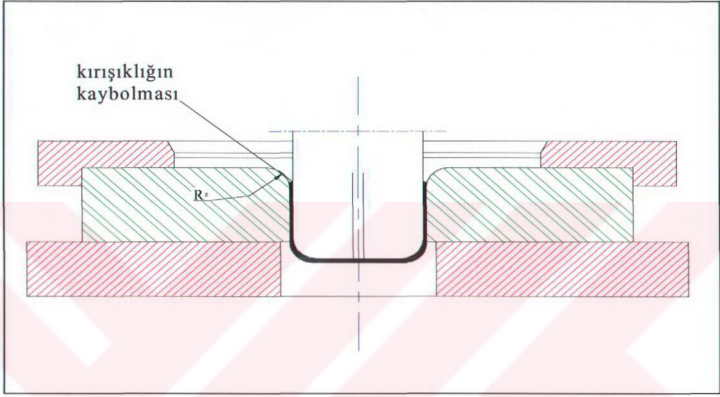
Zımba hareketine devam etmekte ve malzemeyi dişi kalıp deliğine daha çok sokmaktadır. Bu sırada deformasyon daha da çok artmaktadır. Çekilmekte olan kabın tabanında şekil değişikliği olmaz. Zımba ucu ve dişi kalıp ağız kavis yarıçapına göre eğilen parçada düzelme başlar. Çekme işlemi süresince yuvarlak sac malzeme çapında azalma meydana gelir (şekil 5.8).



Şekil 5.8 Kırışıklığın çoğalması

4. Adım :

Zimbanın aşağı hareketinin sonunda malzeme, tamamen dişi kalıp deliğine itilerek çekilmiş olur. Bu durumda kırışıklık da ortadan kalkmaktadır. Şayet zimbanın hareketi daha da devam ederse malzemenin yan yüzleri üzerinde ütüleme ve düzeltme etkisi yapar (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Ütüleme ile kırışıklığın giderilmesi

Çekme işlemi biten kabın ağız ve taban kavis yüzeylerinde eğilme ve basılma gerilmeleri, taban yakın kısımlarda maksimum çekilme gerilimi meydana gelir. Çekme geriliminin maksimum olduğu bu kısımlarda çekilen kabın et kalınlığı azalır ve parça aşırı çekmeye zorlandığında taban çevresinde yırtılma meydana gelir.

Baskı plakasız kalıplar, ince saclara uygulanacaksa bu durumda çıkarıcının kullanılması gerekir. Çıkarıcı, hem çekilen parçanın dişi kalıptan çıkmasını sağlar, hem de sıkma görevini yaparak taban yüzeyinin deforme olmasına engel olur.

5.2.4.4. İdeal Bir Çekme Kalıbı İçin Bazı Ebatlar (Şekil 5.10) :

D = Çekilmiş parçanın çapı

d = çekilmiş parçanın iç çapı

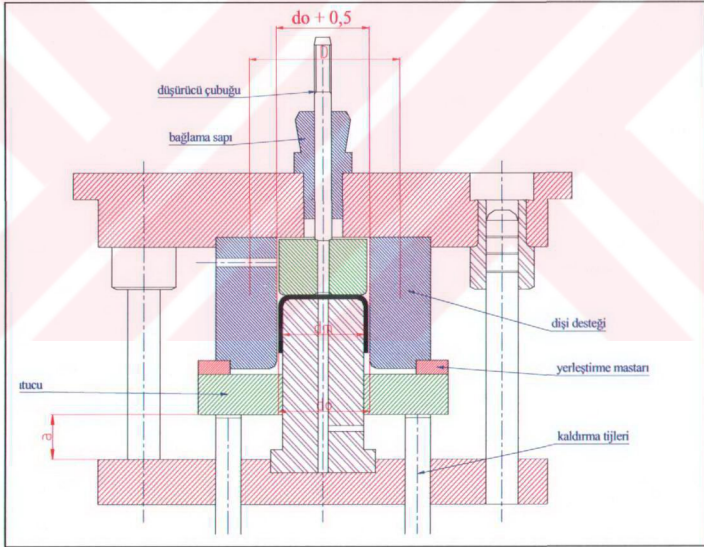
dm = çekilmiş parçanın ortalama çapı ($dm = d + s$)

do = çekilmiş parçanın dış çapı

h = çekilmiş parçanın iç yüksekliği

sp = Dişi ile zımba arasındaki boşluk

$a_{min} = 3 \text{ mm}$ $b_{min} = 3 \text{ mm}$



Şekil 5.10 İdeal bir çekme kalıbı için bazı ebatlar

5.2.4.5. Çekme Hataları ve Giderilmesi :

- I. Çekilen biçim kabın et kalınlığı : Çekme işlemine tabi tutulan parça eğilme, basılma ve çekilme gerilimlerine uğrar. Çekilen biçim kabın et kalınlığındaki değişme kap malzemesinin cinsine, çekme derinliğine, çekme hızına, baskı plakası kuvvetine, yağlama sistemine ve tek taraflı kalıp boşluğuna bağlı olarak değişir.
- II. Portakal kabuğu biçimi : Çekilen kap yüzeyinde malzeme yuvarlanması meydana geleceğinden kaliteli yüzey elde edilemez. Böylece çekilen yüzeyde matlaşma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen hataları düzeltmek için kalıplanan parça keçelerle parlatılır veya yüzey kromla kaplanır.
- III. Kulaklanma (Çıkıntı) : Flanşlı çekme işleminin dışındaki kaplarda sık rastlanan hatalardan biridir. Çekme anında çekilen biçim kabın hadde yönünde uzama meydana gelir. Bu hatanı giderilmesi için ilkel çapın ve boyutlarının fazla alınması ve çekme işleminden sonra kap ağzının düzeltilmesiyle sağlanır (Naval ve Kumar 2002).
- IV. Çizilme, zedelenme, çentiklenme : Çekme anında sac malzeme dişi kalıp yüzeyine sürtünür. Sürtünmeden dolayı kap yüzeyinde çizilme ve zedelenmeler meydana gelir. Bunun için kabın uygun şekilde yağlanması, temiz tutulması ve çekme anında meydana gelen ısınmanın yok edilmesi gerekir.
- V. Germe çizgileri : Çekme işleminden sonra kap yüzeyinde yama şeklinde çizikler meydana gelir. Ancak bu tip çekme hatası genelde azdır.
- VI. Renk değişimi : Yüksek parlatma çekme işlemlerinde bu tip hatalar sık meydana gelir. Bu tür hataların giderilmesi için tek taraflı kalıp boşluğu artırılır.

- VII. Buruşma : Çekilen kap malzemesinin flanşlı veya gövde kısımlarında buruşmalar meydana gelir. Buruşmayı önlemek için tek taraflı kalıp boşluğunu ve baskı plakası kuvvetini iyi ayarlamak gerekir.
- VIII. Geri esneme : Çekme kalıbından çıkan kap geri esneme sonucu açılır. Bu açılmayı önlemek için dişi kalıp ağzından itibaren bir miktar içe doğru konikleştirilir.

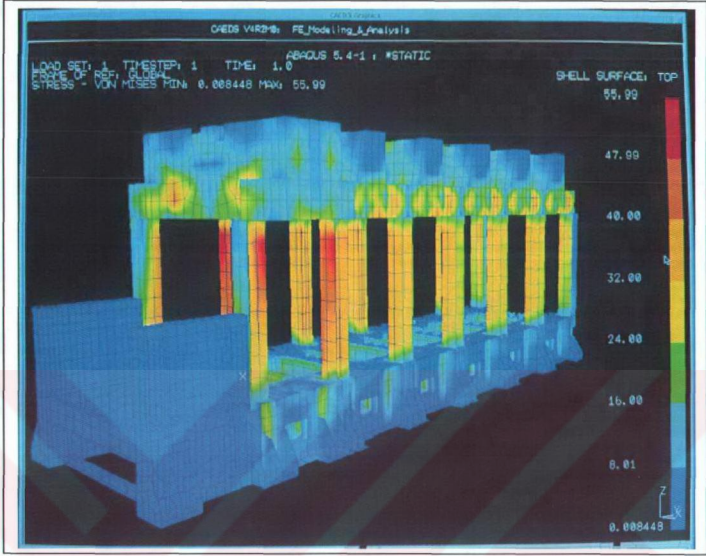
6. PRES TİPLERİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

Bir presin fonksiyonu, ürünü meydana getirebilmek için gerekli olan bir veya birden fazla kuvveti ve hareketi kalıba veya kalıbın elemanına / elemanlarına iletmeektir. Pres dizaynı kullanılacak üretim prosesleri ile ilgili özel bir takım bilgilere sahip olmayı gerektirir. İstenilen uygulamaya bağlı olarak, pres dizaynı ya spesifik bir prosesi yerine getirmek ya da genel amaçları yerine getirmek maksadıyla uygulamak üzere imal edilir.

Pres kolonlarının görevi ise, pres üzerine gelen kuvvetleri absorbe etmek, hassas bir kayma sağlayabilmek için kılavuzluk yapmak, sürücü sistemi ve diğer eksenel üniteleri desteklemektir. Pres kolon dizaynı yapılırken aşağıdaki kriterler gözönünde bulundurulur ;

- Pres kuvveti (buna göre kolonların rijitliği hesaplanır)
- Kalıp boyutlarına göre sürücü elemanların boyutları
- Çalışma alanı (kolonun şekli belirler)
- Kılavuzun hassasiyet derecesi (kolonun şekli ve rijitliğini etkiler)

Pres kolonlarının dikkatli bir şekilde konfigürasyonu, kolonların sürücü elamanlarından ve eksenel çalışan ünitelerden kaynaklanan gerilmelere maruz kalmasından ve pres sürücülerine hassas bir kılavuzluk sağlaması gerektiğinden hayati derecede önemlidir. Kolonların üzerine gelmesi gereken yük ve kolonların yapıldığı malzemenin elastiklik modülü aşılmalıdır. Kolonlar üzerine gelen gerilme dağılımını hesaplamak amacı ile Sonlu Elemanlar Metodu kullanılarak dizayn optimizasyonu yapılır. Şekil 6.1 de bu konu ile ilgili yapılan bir çalışma görülmektedir.



Şekil 6.1 Pres kolonunun FEM optimizasyonu : merkezden uzaktaki yükleme şartında gerilme dağılımı

Üretim tekniklerine bağlı olarak presler, sac metal formlama, katı model formlama (dövme, ekstruzyon, coining), açınım kesme, hidroforming presleri gibi alt kategorilere ayrılırlar.

Presler, sac şekillendirme, dövme ve basma işlemlerinin gerçekleştirildiği mekanik veya hidrolik olarak tahrik edilen makinalardır. Tahrik şekillerine, gövde tiplerine ve etki sayılarına göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu sınıflandırma dahilinde herhangi bir pres, gerek kapasitesi ve gerekse tabla alanı itibari ile yapılacak imalat için uygun düşebilecektir.

6.1. Hidrolik Presler

Hidrolik presler, sa şekillendirilmesinde, açık ve kapalı dövme ve basma kalıpları ile imalatta kullanılmaktadır. Ekzantrik ve kranklı presler ile şahmerdanlardaki darbe etkisine karşılık, hidrolik presler, şekillendirmeyi basınç etkisiyle gerçekleştirmektedir.

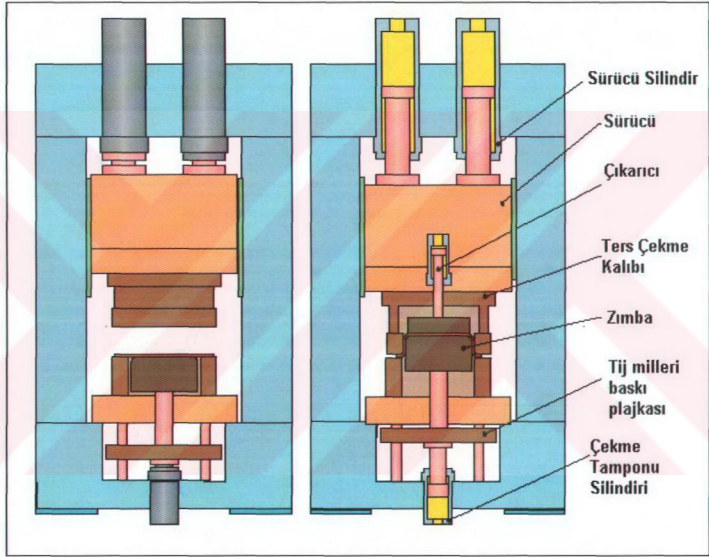
Preslerde en önemli özellik gövdenin konstrüksiyon tarzıdır. Gövde preslerde destekleyici bir organdır. Bütün miller, yataklar, pres başlığı ve tahrik mekanizması gövdeye monte edilmiştir. Gövdeler dökümden veya hadde mamulü çelik platinalardan kaynak konstrüksiyonlu olarak imal edilmektedir. Dökümden imal edilen gövdeler çok rijit olmakla birlikte pahalıdır. Kaynak konstrüksiyonlu gövdeler ise, döküme nazaran ucuz ve aynı zamanda sarsıntılı yüklemelere karşı daha mukavimdir.

Bir hidrolik pres, kuvvet etkisini karşılayan pres gövdesi, ana silindir veya silindirler, geri dönüş silindirleri ve kalıpların bağlanacağı konstrüksiyon elemanlarından oluşmaktadır. Bunlara ilaveten, presin uygulanma ve çalıştırılma durumuna bağlı olarak, kalıp ve takımlar için özel bağlantı ve kayıtlar ile güvenlik mekanizmaları bulunabilmektedir. Hidrolik güç istasyonu (pompa), kontrol valfleri, tank ve borular ile ölçüm cihazları pres donatımını tamamlayan diğer donatımlardır (şekil 6.2).

Pres kuvveti, hidrolik basıncı ile piston kesit alanının çarpımı demektir. Dolayısıyla, kuvvet ve basınç iletimine ilişkin çeşitli mekanizmalar arasından hidrolik sistemi tercih etmek çeşitli bakımlardan avantajlı olmaktadır. Böylelikle, minimum düzeyde donatım, aşınan ve yıpranan eleman, yedek ve tamir takımları kullanımı sağlanmaktadır. Özellikle büyük şekillendirme kuvvetlerinin geçerli olduğu hallerde de sadece hidrolik presler kullanılmaktadır.

Piston çalışma hızı, hidrolik akışkanın iş silindirine giriş debisine bağlıdır. Hidrolik güç istasyonunun (pompa) tipi ve boyutu, çeşitli şekillendirme operasyonları için gerekli olan maksimum çalışma hızlarına göre seçilmektedir. Ayrıca, boru ve valf çaplarının da kaçınmayacağımız akış kayıplarını kabul edilebilir minimum sınırlara indirgeyecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ama silindirlerin, düşük hidrolik basınçlar altında dolup boşalmasına bağlı

olarak, yüksek ilerleme ve dönüş hızları sağlayabilmek için kesitlerin geniş tutulması gerekmektedir. Basma periyodu sırasındaki piston hızı dakikadaki stroke sayısını da belirlemiş olacaktır. Parçaya, tutma ve taşıma için kullanılacak mekanizmanın da yeterli olması koşulu ile yüksek bir stroke/dakika değeri sağlanabilecektir. Basınç yükselticilerinin kontrol dişlileri vasıtasıyla da hızlı değişimler sağlanabilmektedir. Tekrarlanmakta olan pres çevrimleri adımlarının kontrolünde otomasyonun sağlanmasıyla, operatör sayısı azalacağı gibi, imalatın doğruluk derecesi ve rentabiliteside yükselecektir.



Şekil 6.2 Ters çekme için tij mili tahrikli tek etkili hidrolik pres

Yüksek şekillendirme hızlarına karşı duyarlı olan malzemelerin şekillendirilmesinde ve düşük hızlar altında uygulanması gereken işlemlerde (derin çekme, formlama vb.) hidrolik preslerin kullanılması gerekmektedir.

Ayrıca, yüksek hızlar altında çatlama tehlikesi kalıp malzemeleri içinde söz konusudur.

Hidrolik preslerde önceleri uzun süre su kullanılmış daha sonra yağ pompalarının gelişmesi ile yağ kullanılmaya başlanmıştır. İkisinin karakteristikleri birbirinden oldukça farklıdır. Hidrolik akışkanın sıkıştırılabilirliği, belirli bir şekillendirme periyodu boyunca çok önemli bir faktördür. Yüksek kurs sayıları için sakıncalı olabilmektedir.

Pres direkt olarak pompaya bağlıdır ve piston hızı debiyi belirlemektedir. Hız yüksek olup biçimlendirme süreleri kısadır. İlave donatımlar olmadığından enerji kayıpları da azdır. Pompa kapasitesi geniş bir süre ile kullanılmamaktadır. Normal bir motor kapasitesi altında çalışarak ve donatıma volan ilavesi ile çok kısa olan maksimum yüklenme periyodu aşılabilecektir. Kuruluş masrafları fazladır. Donatımda kullanılan yükselticiler vasıtasıyla 8-12 atm.lik buhar veya hava basıncı 400-500 atm.lik hidrolik basınca dönüştürülebilmektedir. Sistem tam basınç ile çalıştırılabilmekte ancak genleşmenin yarattığı enerji kayıpları ekonomikliğı azaltan bir etken olmaktadır. Buhar veya basınçlı havanın ucuz ve kolay elde edilebildiğı yerlerde, ayrıca atık buhar veya basınçlı havanın değerlendirilebileceğı alanlarda elverişlidir.

Yükseltici mekanik olarak tahrik edilmektedir. Kurs sayısı yüksek olup, mekanik veya hidrolik kavrama kullanılarak tek kurslar elde edilebilmektedir.

Presler, pompaya bir akümülatör vasıtasıyla ve endirekt olarak bağlanmışlardır. Çok sayıda presin çalıştırıldığı işletmelerde, yüksek kapasiteli tek bir merkezi pompa kullanmak suretiyle verimliliğı arttırmak için kullanılan sistemlerdir. Hidrolik akışkan, sabit basınç altında ve kontrollü bir biçimde silindirlere sevk edilmektedir.

6.2. Mekanik Presler

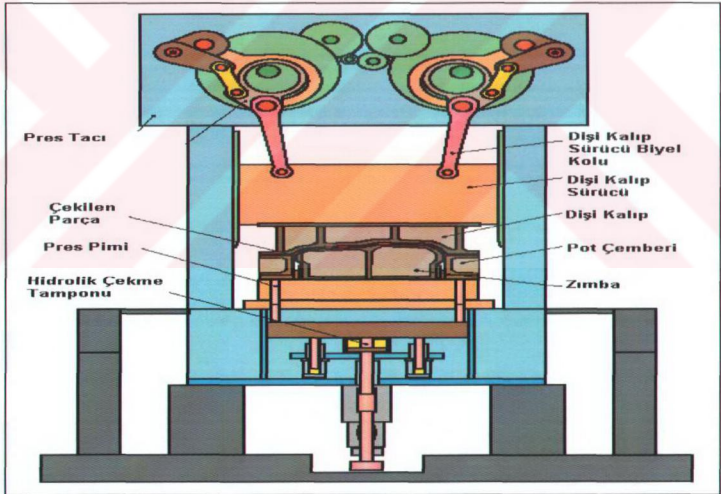
Çekme tamponunun fonksiyonu, derin çekme operasyonu boyunca sacı tutarak form verme sırasında kırışmasını önlemektir. Ayrıca çekilmiş parçanın kalıpta kalma ihtimaline karşılık çıkarıcı görevi de görür. Bunlar hidrolik veya pinomatik tahrikli olabilmektedir. Bu iki tahrik sistemi arasındaki en önemli fark, hidrolik sistemde daha fazla kuvvet vermesidir.

6.3. Etki Şekline Göre Presler

Preslerin sınıflandırmaya tabi tutulduğu diğer bir kriterde etki şeklidir. Bunun anlamı, preste mevcut olan başlık kayıt ve hareket mekanizmalarıdır. Presler tek, iki ve üç etkili olabilmektedir.

6.3.1. Tek Etkili :

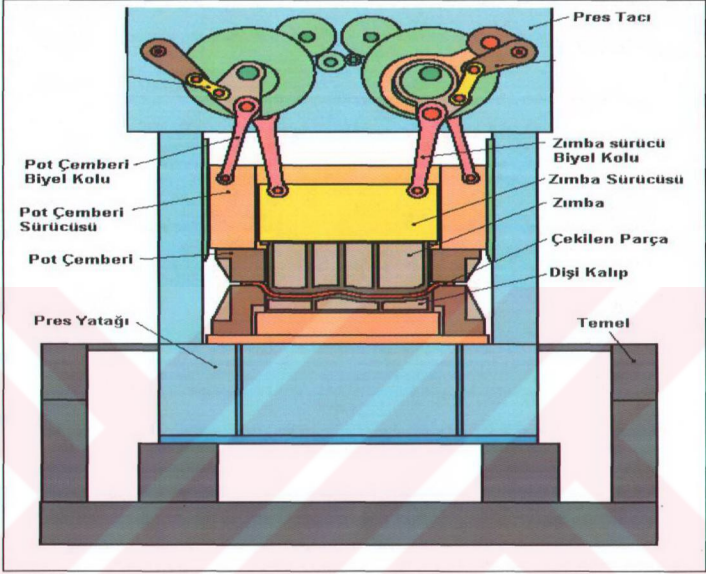
Bu tip preslerde, tabanda veya taç gövde içinde başlık hareketini sağlayan bir adet mekanizma bulunmaktadır (şekil 6.3).



Şekil 6.3 Tek etkili mekanik pres

6.3.2. Çift Etkili :

Bu tip preslerde de, yukarıdaki donatılardan ikişer adet yer almakta, iç ve dış başlıklar iç içe düzenlenmiş olarak çalıştırılmaktadır (şekil 6.4).



Şekil 6.4 Çift etkili mekanik pres

6.3.3. Üç Etkili :

Pres tabanına üçüncü bir başlığın ve hareket mekanizmasının ilavesiyle üç etkili pres tipi ortaya çıkmaktadır. Pres tablasının büyüklüğüne göre, bu pres tek, çift veya dört noktadan tahrikli (askılı) olarak düzenlenebilir.

Çift etkili preslerde, dış başlık örneğin bir baskı plakasını (potu), iç başlık ise, şekillendirme ıstampasını (zımbayı) çalıştırabilir. Böylelikle bir derin çekme işlemi gerçekleştirilebilir. Kısa kurslu olan dış başlık, iç başlığın çekme işlemini uygulayışı esnasında sürekli olarak alt konumda beklemekte ve çekilen saca çevresel basınç (pot basıncı) uygulamaktadır. Üç etkili presler ise, derin çekme

ile birlikte, ilave bir şekillendirme (delme, bükme,...) yapabilir. Bu presler birbiri ile uyumlu çalışan üç ayrı kayıta sahiptir. Üçüncü başlık, pres temeline yerleştirilmektedir. Bu başlık, ters çekme, ilave şekillendirme, boşaltma işlemlerinde kullanılabilir. Dış başlığın kurs sonunda kısa bir duraklama süreci geçirerek işlem esnasında bastırıcı basıncının uygulanmasına imkan vermesi gerekmektedir. Genellikle yavaş çalışan tahrik mekanizmaları uzun kurslu, hızlı çalışanlar ise bunun tersi olmaktadır.

6.4. Tahrik Mekanizmaları

Pres başlığı hareketinin sağlanış tarzı yani kullanılan mekanizma tipi itibarıyla şöyle bir sınıflandırma yapmak mümkündür.

6.5. Hareket Mekanizmaları

6.5.1. Mekanik

Mekanik preslerde, volan genelde bir enerji kaynağı olarak atlatılmasında prese yardımcı olmaktadır. Çalışma esnasında volan sürekli olarak dönmekte ve bir pres kursu gerektiğinde kavrama ile durum değiştirilmektedir. Bazı büyük preslerde kavrama bulunmayıp, hareket motoru doğrudan doğruya pres miline bağlanmaktadır. Mekanik preslerde, pres başlığına aşağıda gösterilen mekanizmalardan biri vasıtasıyla hareket verilmektedir.

Krank Mili : 300 tona kadar olan preslerdeki en basit tahrik tarzı, krank mili ile yapılanıdır. Burada, otomobillerde kullanılan benzer ancak ondan daha küçük bir krank mili kullanılmaktadır. Krank milinin uç muyluları pres gövdesi üzerindeki yataklar içine yerleştirilmektedir. Krankın ara muylusu da biyel vasıtasıyla dönüş hareketini doğrusal harekete çevirmektedir. Biyelin diğer ucuna yataklanmış olan pres başlığı bir piston gibi hareket etmektedir.

Eksantrik Mili : Bir çok preste başlık hareketi eksantrik mili ile sağlanmaktadır. Eksantriğin çevresi ile muyluların çevresi bir noktada teğettir. Eksantrik mili daha ziyade yüksek hız ve kısa kurslar için kullanılmaktadır. Eksantriklik büyüdüğünde kursta artmış olmaktadır. Bu tiplerin çoğunda maksimum kurs 150 mm. kadardır.

Kam Mili : Eksantrik miline çok benzemektedir. Zaten her ikisinde eksantrik daireler prensibine dayanmaktadır. Kamlı mekanizmanın farkı kam milinde biyel kolu bulunmasıdır.

Çubuk Kol Mekanizması : Çift etkili preslerde ikinci hareketin sağlanması için geniş şekilde kullanılmaktadır. Dış başlığın bastırıcı olarak kullanılmasında, derin çekme işlemi devam ettiği müddetçe mekanizma alt ölü noktada kalmaya ve sacı bastırmaya devam etmektedir. Çalışma kursundan önceki ve sonraki kayıt hareketlerini hızlandırmak için iki kavramalı mekanizma veya mekanik düşünüm gibi yöntemler tatbik edilerek, çekme hızı değiştirilmeden dakikadaki stroke sayısının artırılması mümkün olabilmektedir.

Kremayer-Pinyon Dişli : Bu mekanizmalar nadiren laboratuar tipi küçük preslerde kullanılmaktadır. Pres başlığı kremayer dişlini ucunda yer almaktadır.

6.5.2. Mekanizma Sayıları

Diğer bir tasnif şekli krank mili uçlarındaki dişli kademelerinin sayısına göredir. Küçük preslerde tek tahrik kademesi, uzun tablalı olanlarda, çift tahrik kademesi uygulanmaktadır. Krank mili uzun olduğunda, her iki ucunda tahrik dişlileri yer almaktadır. Tek uçtan tahrik edilmiş olsaydı, uzun krank milinin burulmasında artardı. Bundan dolayı, krank mili her iki uçtan tahrik edilerek burulma azaltılmaktadır. Büyük preslerde tablalar uzun ve geniş olduğundan, bunlar üzerine iki uzun krank mili düzenlenmektedir. Bu durumda, her krank mili için ikişerden dört noktada tahrik gerekmektedir. Eksantrikli tahrikte, ayrıca dört adet tahrik dişlisi de bulunacaktır.

6.6. Mekanik ve Hidrolik Preslerin Karşılaştırılması

Hidrolik preslerde, pres kuvveti tüm tahrik boyunca sabit kalmaktadır. Mekanik preslerde ise, kuvvet değeri kursun her bir noktasında farklılık göstermektedir.

Hidrolik preslerde kurs ayarı, geniş bir aralık boyunca ve kolaylıkla yapılabilmektedir. Mekanik preslerde, krank veya eksantrik milinin belirlediği sabit kurs uzunluğu geçerlidir.

Hidrolik preslerde, başlık hızı geniş bir aralık boyunca ayarlanabilirken, mekanik preslerde, hareket mekanizmasının sınırlamış olduğu hız altında şekillendirme uygulanmaktadır.

Bir hidrolik pres aşırı yüklenmeye maruz kalmaz. Önceden bir yük değerine ayarlandığı takdirde, presin yüklenmesi bu değere ulaştığında makine çevrimi durdurmaktadır. Bir mekanik pres aşırı yüklenmeye karşı güvenlik altına alınmadığı takdirde, kendisine zarar verebilecek şekilde aşırı yüklenmeye maruz kalabilir.

Mekanik pres çevrimi, hidrolik preslere göre daha hızlı ve seri imalat için daha elverişlidir. Enerjinin volan vasıtasıyla depolanması dolayısıyla, mekanik pres için küçük kapasiteli bir motor yeterli olabilmektedir. Bazı uygulamalarda, hidrolik presin motor boyutları, mekanik presteki karşılığının 2.5 katı büyüklükte olabilmektedir.

Mekanik preslerde, başlık hızı daha yüksek olabilmektedir. Bu özellik, yüksek hızlı vuruşun gerekli olduğu kesme ve delme işlemleri için yararlıdır. Kesme ve delme işlemi, hidrolik presler üzerinde de uygulanabilir. Ancak, kesim sonundaki ani şok, hidrolik sisteme zarar verebilmektedir.

6.7. Saç Parçaların Şekillendirilmesinde Pres Seçimi

Herhangi bir parçanın imali için gerekli olan presin seçiminde, üç basamaklı bir inceleme yapılması öngörülmektedir. Bu incelemeler tek tek yapıldıktan sonra son karar verilirken maliyet, süre ve takımın kullanılabilme durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu basamaklar ;

Saç Parçanın Analizi : Parçanın, varsa bir numunesi veya resmi üzerinde hangi temel operasyonların (kesme, delme, bükme, formlama... vb.) gerekli olduğuna karar verebilmek için dikkatli bir inceleme yapılır. Bu temel operasyonların kalıp ve kalıp istasyonları ile nasıl kombine edileceği, parçanın kalıp operasyonları sonrasında alacağı biçim ve boyutlar, imalat hızı, toplam imalat adedi, sacın bileşimi ve kalınlığı pres seçimini etkileyen faktörlerdir.

Kesme ve delme işlemleri genellikle kısa kurslu ve yüksek hızlı preslerde yapılmakta, düşük hızlı ve uzun kurslu presler ise, derin çekme ve şekillendirme

işlemleri için daha uygun olmaktadır. Vurma ile şekillendirme ve kabartma işlemleri için genellikle alt ölü noktaya yakın yüksek kuvvetler uygulayan kısa kurslu presler kullanılmaktadır. Çekme ve şekil verme operasyonları, şekillendirilen malzemenin cinsine bağlı olarak, kritik bir pres başlığı hızının uygulanmasını gerektirmektedir. Pres seçiminde, kurs uzunluğunun, kalıbın saca temas noktasındaki başlık hızının ve pres tonajının da etkisi vardır.

Parçanın boyutları (kalınlık, açınım boyutları, çekme derinliği,... vb.) direkt olarak kalıbın boyutlarını etkilediğinden, pres seçiminde dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli noktadır. Ayrıca seçilen sac malzemenin türüne göre uygulanan bir çekme hızı vardır. Kesme ve delme işlemleri için bunu çok önemi olmasa da özellikle derin çekme operasyonları gibi malzeme içinde büyük değişimlerin söz konusu olduğu durumlarda hızın önemi büyüktür.

Kalıp Tipinin Belirlenmesi : Sac parçaların imalatı için tasarlanan kalıplar şirket bünyesindeki preslere göre dizayn edildiğinden çok çeşitli olabilmektedir. Ancak her şeyden önce düşünülmesi gereken nokta teklif aşaması olduğundan eldeki veriler dikkate alınarak envanterdeki preslere göre optimum tasarım yapılmalıdır. Tek operasyon tek preste yapılacağı gibi parça büyüklüğü ve pres kapasitesi düşünülerek birden fazla operasyon tek bir preste de düşünülebilir. Birden fazla operasyon için rulo beslemeli progressive(adımlı) kalıplar yapılabileceği gibi birden fazla kalıbın operasyon sırasına göre yan yana konularak, bir operatör yardımı ile parçanın operasyon atlatılması sağlanarak transfer kalıpları yapılabilir. Bunu dışında tandem, robotlu ve transfer preslerinin özel hat yapısına göre daha karmaşık kalıp konstrüksiyon tipleri de mevcuttur. Bu hatlarda dakikadaki parça üretim adedi maliyet açısından çok önemlidir.

Modern pres çalışma operasyonlarında, kalıp denemeleri önemli bir oynar. Kalıplar seri üretime geçmeden önce deneme preslerinde tecrübe edilirler. Bu yol ile, bir üretim hattı üzerindeki presteki kalıp set up zamanı minimuma indirilmiş olur. Bu şekilde pres hattındaki verimlilik de artırılmış olur.

7. DERİN ÇEKME İŞLEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ BENZETİMİ

Kaliteli sacların yüksek miktarlarda ve ucuza mal edilerek üretilmesi, sac şekillendirmeyi içinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli üretim yöntemlerinden birisi haline getirmiştir. Yüksek bilişimsel maliyetleri nedeni ile eskiden mümkün olmayan karmaşık hesaplamalar, bilgisayar donanımlarındaki hızlı ilerlemeler nedeni ile artık yapılabilmektedir.

Sac şekillendirmeye etkiyen tüm etkenler konusunda geniş bir bilgi ve tecrübe sahibi olmadan yapılan kalıp imalatı sırasında istenilen parçayı kaliteli olarak elde edebilmek için, oldukça uzun bir süre alan, hatta bazen kalıpların yeniden dizaynına kadar gidebilen bir deneme yanılma süreci yaşanır. Maliyeti oldukça yüksek olan bu süreci azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak, en uygun kalıp yüzey dizaynını daha imalata geçmeden belirlemek için bilgisayarda sayısal benzetimler, son yıllarda başarıyla kullanılmaktadır.

Sayısal sac şekillendirme benzetimlerinin ilk yararı daha parçanın dizaynında başlar. Yeni araç tasarımında, parçanın tanımlanması aşamasında sorunsuz şekillendirilebilirliğin görülmesi, proses ve kalıp dizaynından önce açınım ölçüsü, baskı plakası kuvveti ve şekillendirme kuvveti gibi değerlerin bilinmesi, imalat sırasındaki maliyetleri çok büyük oranda azaltmaktadır. Parçanın fizibilitesi ve ilk tasarım amaçları için şekillendirme işlemi tersten ve tek adımda çözen onestep sayısal yöntemi, hassasiyeti bir miktar düşük olmakla birlikte parça teklif aşamasında kullanılabilir.

Sac metallerin şekillendirme işlemleri, sac şekillendirme sınırını belirleyen şekillendirilebilirlik kavramı ile açıklanmaktadır. Derin çekme, bükme, kesme, gererek şekillendirme sac şekillendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır. Şekillendirilecek parçalar haddelenmiş saclar halindedir ve kalınlıkları diğer boyutlara göre oldukça küçük olduğundan büyük yüzey / hacim oranına sahiptirler. Şekillendirme sonucunda sac metalde şekil olarak büyük değişimler olmasına rağmen, sac kalınlığında küçük değişimler meydana gelmektedir. Sac şekillendirme işlemlerinde, plastik şekil değişimi genellikle çekme gerilmeleri altında yapılmaktadır. Elastik şekil değişimleri ise çoğunlukla etkili olmaktadır.

I. Benzetim Programlarının Kullanıldığı Yerler :

- Karmaşık derin çekme, hydroforming ve gererek şekil verme kalıplarının dizayn aşamasında,
- Proses planlama ve concept metodolojisinin kontrolü,
- Form verme işlemi sırasında baskı plakası şekli, baskı plakası kuvveti, çekme radyüsleri, süzdürmeler, yağlama, geri yaylanma, açınım tespiti, yerçekimi ve press basıncı gibi işlem parametrelerinin optimizasyonunda,
- Kullanılacak sac malzemenin optimizasyonunda (elastisite modülü, akma dayanımı, deformasyon hızına duyarlılık üsteli, plastik anizotropi gibi malzeme parametrelerinin optimizasyonunda).

II. Benzetimin Getirdiği Avantajlar :

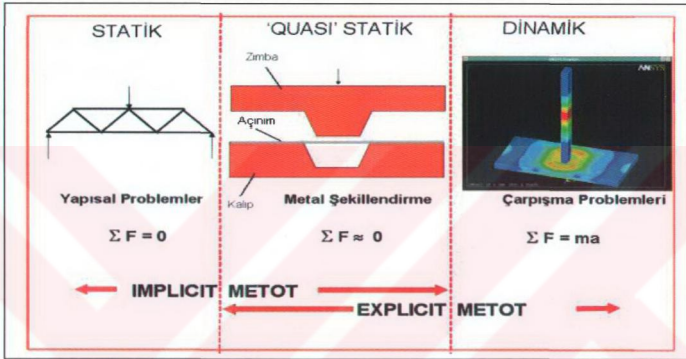
- Tasarım ve geliştirme süreçlerinin önemli miktarda azalması,
- Geliştirme sürecinde kullanılan malzeme miktarında tasarruf,
- Tasarım esnasında geçiş zaman aralarının azaltılması,
- Ürün kalitesindeki artış.

Benzetim programlarının tasarım aşamasında kişiye bir fikir verme konusunda çok yararlı bir aşama olduğu şüphe götürmez bir gerçektir. Bununla birlikte deneysel sonuçlarla da bu analizleri desteklemek doğru sonuçlara ulaşmak adına katkı sağlayacaktır. Çünkü bu analizlerin bilimsel olarak geçerliliği, elde edilen sonuçların doğruluğunun tam olarak teyidi ile mümkündür.

7.1. Sac Şekillendirme Proseslerinde Kullanılan Autoform Yazılımı Hakkında Bilgi

Sac malzeme şekillendirilirken malzeme hem deformasyona hem de yer değiştirmeye zorlanır. Malzeme kalitesinin iyi olması için bu yer değiştirme ve

deformasyonun çok iyi anlaşılması ve kontrol edilmesi gereklidir. Autoform sac malzemenin şekillendirme benzetimini yaparken "one step" ve "accurate incremental finite element" olmak üzere iki farklı yöntem kullanır. Çözüm tekniği olarak yazılımlar, genellikle implicit ve explicit olmak üzere iki farklı çözüm tekniği uygular (şekil 7.1). Bu çalışmadaki analizler autoform yazılımının "Implicit çözüm tekniği" kullanılarak yapılmıştır (Autoform ve Ls Dyna).



Şekil 7.1 Implicit-Explicit yöntem karşılaştırılması

Yazılım için daha karmaşık olan ve her adım için daha çok hesaplama eforu gerektiren Implicit çözüm yöntemini kullanmanın başlıca sebebi büyük zaman adımları kullanabilmektir. Çok büyük adımlar için çözüm, Implicit formülasyon çok dikkatli bir şekilde oluşturulmadıkça sonuçlar gerçekçi olmayabilir. Implicit yöntemde denge denklemleri $t+\Delta t$ anında çözülür. Sac biçimlendirmedeki bir çok nonlineer unsur nedeni ile denge konumu belirlenirken iterasyonlar yapılır. İterasyonlarda genellikle Newton-Raphson denklemi (denklem 7.1) kullanılır.

$$\Delta u^{(i+1)} = \Delta u^{(i)} + 1/K_i (F^{(i)} - I^{(i)}) \quad 7.1$$

K_i : teğetsel direngenlik matrisi

F : dış kuvvetlerin vektörü

I : iç kuvvetlerin vektörü

Δu : bir zaman adımındaki deplasmanların vektörü

Buradaki her iterasyonda teğetsel direngelik matrisinin yeniden oluşturulması ve ayrıştırılması gerekir. İki adım arasındaki aralık istenilen büyüklükte seçilebilmesine karşın pratikte nonlineer temas şartları nedeni ile sınırlıdır. Bir yakınsama kriterine ulaşıldığında hesaplama durur.

Explicit yöntemde ise, denge denklemi t anında çözülür ve iterasyona gerek yoktur. Biçimlendirme işlemi dinamik bir işlemdir ve hareket denkleminin integrasyonu için merkezi farklar yöntemi kullanılır. Kararlılık açısından kullanılabilir zaman adımı genişliği sınırlıdır. Zaman adımı büyüklüğü kritik zaman adımı (denklem 7.2) büyüklüğünden daha küçük ise sistem kararlıdır. Zaman adımlarının bu denli küçük olmasından dolayı çok kısa süreli yapısal problemlerin analizlerinde faydalı bir yöntemdir.

$$\Delta t \leq \Delta t^{crit} = \frac{2}{\omega_{max}} \quad 7.2$$

$$\text{Doğal frekans : } \omega_{max} = 2 \frac{c}{l} \quad 7.3$$

$$\text{Dalga yayılma hızı : } c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad 7.4$$

$$\text{Kritik zaman adımı : } \Delta t = \frac{l}{c} \quad 7.5$$

l : en küçük eleman uzunluğu

ρ : malzemenin yoğunluğu

E : elastisite modülü

Explicit yöntemler sayısal açıdan oldukça kararlıdır ve temas şartları küçük zaman adımları sayesinde tam anlamı ile tarif edilebilir. Pot oluşması gibi

kararsızlıklar kolayca tarif edilebilir ve yakınsama problemi ile karşılaşılmaz. Explicit yöntemler çarpma gibi kısa süreli dinamik problemlerin çözümü için elverişli olması ile birlikte çok sayıda zaman adımına ihtiyaç duyarlar. Implicit yöntemlerde ise adım aralığı teorik olarak sınırsızdır. Hesap zamanını kısaltmak için explicit yöntemlerde yapay olarak bir ivmelendirmeye veya yoğunluğu artırmaya gidilir.

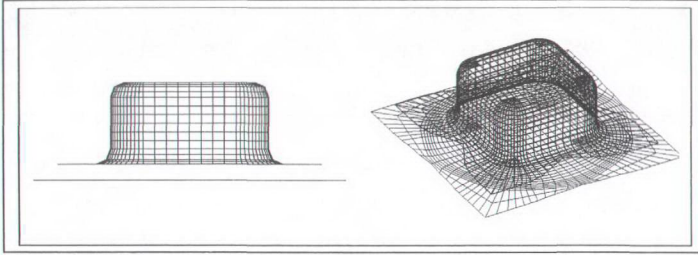
Geri yaylanma ve iç gerilmeler konusunda implicit yöntemler daha üstündür. Bu tip hesaplamalarda takım parçalarının birbirinden uzaklaştırılmasının benzetimi çok önemlidir. Bu yükleme boşaltması explicit yöntemlerde ancak iş parçası hareketini tamamlamışsa yani dinamik etkiler sönümlenmişse uygulanabilir. Hesap zamanını azaltmak için elemanlarda düşük dereceli integrasyon kullanıldığı takdirde gerilmeler doğru olarak hesaplanamayabilir. Geri yaylanmanın temel şartı ise gerilmelerin hassasiyetidir.

7.1.1 One-step Metot :

Enerjinin korunumu ve hacim sabitliğinin esas alınarak, şekillendirilmiş parçanın dış hattına kuvvet uygulanmasıyla açınımının bulunması esasına göre çalışır. Yani parçanın sınırlarından çekilmesiyle meydana gelen gerilmelerin tersine çevrilmesi suretiyle parçanın benzetimi yapılır. Şekil 7.2 de üründen açınımına örnek görülmektedir. Bu yöntemle hızlı çözüm elde edilir ancak sonuçların hassasiyetinin olmadığı göz önünde tutulması gereken noktadır (Fast Form3D ve Naceur 2003).

Temel olarak araç geliştirme döngülerinin ilk evrelerinde (concept geliştirme veya prototip evrelerinin başlarında) proses çalışmaları henüz tam olarak gerçekleşmediğinden one-step benzetim metodunu kullanmak daha uygundur. Tipik olarak one-step metodu sac malzemedeki yer değiştirme ve deformasyonun kesin olmayan kaba tahminler gibi geri besleme değerlerini sağlar. Yani one step benzetim metodunun çıktıları fizibil geliştirmenin kaba değerleri olarak görülmelidir. Geliştirmenin ilk safhalarında sonuçlar prosesi

planlayanların uygun bulacağı fizibil kalıp elemanlarının tasarlanmasına izin verecek doğrultudadır.



Şekil 7.2 One step ile açınımı elde edilen parça

7.1.2 Incremental (Artımlı) Metot :

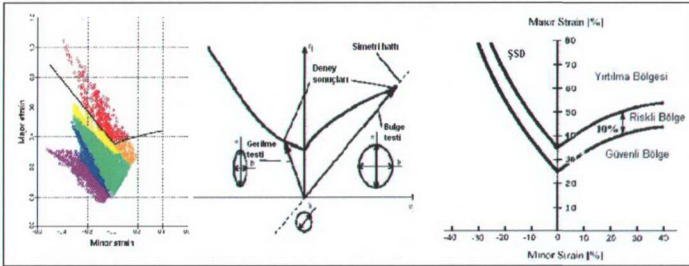
Proses optimizasyonu için bir çok kesin hesaplar incremental metodun yardımıyla yapılabilir. Bu tür benzetimler için kalıp elemanının CAD tanımlaması gereklidir. Bu veriler araç gelişimindeki prototip evresine veya üretim öncesi evreye kadar uygun değildir. Diğer giriş dataları metal karakteristikleri ve proses parametrelerini içermektedir (Şekil 7.3).

Kalıp Elemanları	Malzeme Özellikleri	Proses Parametreleri
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Dişi ▶ Erkek ▶ Baskı plakası ▶ Süzdürmeler 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Stress-strain eğrisi ▶ Anizotropi (yönelme) ▶ ŞSD ▶ E (Elastisite modülü) ▶ Pekleşme üsteli ▶ Akma gerilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Proses adımları ▶ Açınım ▶ Baskı plakası kuvveti ▶ Baskı plakası şekli ▶ Süzdürmeler
<p>SONUÇLAR KALINLIK, GERİLME DAĞILIMI, KIRIŞMA, ŞSD, PRES KUVVETİ, BASKI PLAKASI KUVVETİ, ŞEKİLENDİRİLEBİLİRLİK, GERİ YAYLANMA</p>		

Şekil 7.3 Yazılımın girdileri ve yazılımdan alınan çıktılar

7.1.3 Şekillendirme Sınır Diyagramı (SSD):

Şekillendirme sınır diyagramları şekillendirilmiş bir parçanın şekil değiştirme durumunu aynı zamanda da malzemenin şekil alma limitlerini gösteren bir grafikdir. Düşey eksen yüzde olarak major strain'i gösterirken, yatay eksen ise yine yüzde olarak minor strain'i göstermektedir. Sac, şekil verme sırasında geometriye ve kalıp elemanlarının çalışma tarzına göre farklı yönlerde farklı miktarlarda uzar. Örneğin kalıba giren açınım olarak kesilmiş ilk sacda, çember olarak çizilen şekiller formlama sonrası elips şekiller olarak çıkacaktır. Bu elipslerin uzun ve kısa eksen doğrultuları her bir elips için geometri ve anizotropi etkilerinden dolayı farklı yönleri gösterecektir. Sacın yırtılma olmadan uzayabileceği limitler (% uzama) sabit bir değer olmayıp, farklı doğrultulardaki uzama durumuna bağlıdır. Bu durum dikkate alınarak çizilen minimum strain – maksimum strain diyagramı şekillendirme sınır diyagramı olarak anılır ve sacın durumu elemanların bu diyagramdaki yerine göre değerlendirilir. Şekillendirme sınır diyagramındaki eğri, minör uzamalara göre yırtılmadan gerçekleştirilecek max. uzamanın değişimini göstermektedir ve malzeme tanımında verilmesi gereken bir bilgidir. Bu eğrinin üzerinde kalan kırmızı elemanlar yırtılma bölgesini hemen altındaki sarı renk yırtılma riskinin bulunduğu, yeşil renk yeterli gerilmenin bulunduğu kaliteli çekme bölgesini, mavi kırışmaya eğilim ve mor kırışma bölgesini belirtmektedir. Mor bölgelerin negatif minör strain (basma) mutlak değerlerinin major strain'den büyük olduğunu, yani 45 derece hattının altı olduğunu görebiliriz (şekil 7.4).



7.4 Şekillendirme sınır diyagramı

7.1.4 Kalınlık Dağılımı :

Kalınlık dağılımı ve inceleme değerleri iki ayrı çıktı tipi olarak ayrı ayrı alınabilir. İnceleme, % inceleme değerleri olarak elde edilir, (-) değerler incelmeyi, pozitif değerler de kalınlaşmayı gösterir. Bu şekilde izin verilen inceleme oranının aşılp aşılmadığı kolayca görülür.

7.1.5 Kırışma :

Kırışma, şekillendirme sınır diyagramında minör strain mutlak değerinin majör strain'den yüksek olduğu bölgeye düşen elemanların durumudur. AutoForm'da sacın deformasyon durumu dikkate alınarak kırışma kriteri değeriyle kırışma potansiyeli olan bölgeler belirlenir. Ayrıca ikinci bir yöntem olarak eigenvalue/eigenvector analizi ile kırışma bölgeleri bulunup enerjinin minimizasyonu prensibiyle de kırışma yüksekliği bulunur.

7.1.6 Geri Yaylanma (Springback) :

Geri Yaylanma, sacın şekillenmesi sırasında kalan elastik gerilmelerin kalıbın açılması sonrası sacın deformasyona yol açması ile olur. Herhangi bir noktadaki geri yaylanma değeri sorgulanabilir, seçilen bazı noktalardan parça üzerine oturup diğer noktalarda farkına bakılabilir.

7.1.7 Çekme/Şekillendirme Kuvveti :

AutoForm'da sayısal çözümün içerisinde, kalıp elemanlarına şekillendirme kursu süresince gelen kuvvetleri elde etmek mümkündür. Diğer çıktı değerlerinde olduğu gibi sonlu elemanlar ağının (mesh) hassasiyeti elde edilen sonuçlar üzerinde etkilidir. Ayrıca pres gücü için, elde edilen bu teorik değerin üzerine presteki kayıpları da eklemek gerekir. Yani elde edilen bu sonuçları yaklaşık 1.2 katsayısı ile çarpmak gereklidir.

7.1.8 Şekillendirilmiş Sacın Kalitesi (Formability):

Çekilen sacın kalitesi açısından analiz sonuçları, şekillendirme sınır eğrisine belirli bir emniyet payından daha fazla yaklaşmamalı diğer yandan da pekleşme sağlanması için belirli bir min. çekmeye de uğramış olmalıdır.

7.2 Silindirik Bir Kabin AutoFormda Deneysel Çözüm Sonuçları ile Doğrulanması

Otomobil şasi arka koltuk destek parçasının autoform da benzetimi yapılmadan önce, bazı deneysel verilerden hareketle 283,25 mm.lik bir açınım ve 1,6 mm. lik bir kalınlığa sahip olan şekil 7.5b de gerilme-şekil değiştirme ve ŞSD verilmiş olan MR St 1304 çeliğinden 100 mm. çapında ve 190 mm derinliğinde silindirik bir parçanın derin çekme ile elde edilebilmesinin bir takım deneysel elde edilmiş denklemlerle yapılan hesaplamalar neticesinde, üç kademede çekilebileceği öngörülmüş ve bunun autoform programındaki benzetimi ile doğruluğu kıyaslanmıştır. Kademeli çekmenin amacı, tek bir operasyonda elde edilemeyecek parçaların boyutlarının belli bir oran dahilinde küçültülerek/büyütülerek, malzemedeki mekanik özelliklerde meydana gelen değişimlerin etkisiyle son ürünü elde etmek gayesiyle yapılır. Öncelikle parçanın açınımının bulunması için denklem 7.6 dan (David 1990 ve Ataşımşek 1977) faydalanılmıştır.

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} - r$$

7.6

D : açınım çapı

d : çekme çapı

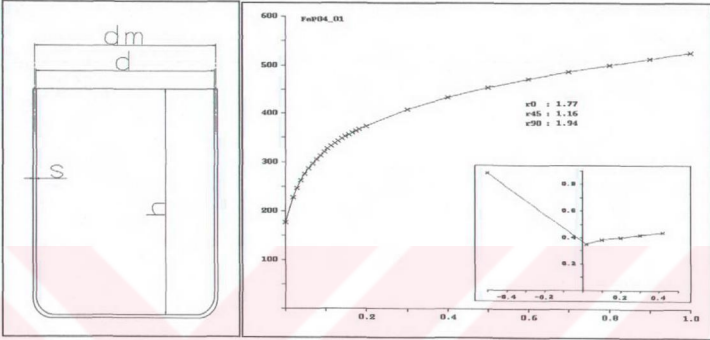
h : çekme derinliği

r : parça taban (dip) radyüsü

Denklem 7.6 dan hareketle,

$$D = \sqrt{100^2 + 4 \cdot 100 \cdot 190} - 10 = 283,25 \text{ mm. bulunur.}$$

Çizelge 7.1, çekme derinliğinin (h) çekilmiş parçanın ortalama çapına (d_m) oranı (şekil 7.5a) dikkate alınarak (Ataşımşek), parçanın yırtılmadan çekilebilmesi için gerekli kademe sayısını tesbit etmek amacıyla bir çok deneyden elde edilen sonuçlardan hareketle kullanılması uygun görülmüştür.



Şekil 7.5 a) Ortalama çap b) MR St 1304 için σ - ϵ eğrisi ve ŞSD

Çizelge 7.1 h/d_m e göre kademe sayısı tespiti (Ataşımşek 1977)

Çekme derinliği (h) / Ortalama çap (d_m)	Çekme sayısı (n)
$h / d_m < 0,7$	1
$0,7 < h / d_m < 1,5$	2
$1,5 < h / d_m < 3$	3
$3 < h / d_m < 4,8$	4

$$\frac{h}{d_m} = \frac{190}{101,6} = 1,87 \text{ olduğundan çizelge 7.1 e göre çekme kademe sayısı (n) üç}$$

olmalıdır yani 283,25 mm. lik bir ilk açınımdan $\varnothing 100 \times 190$ ebatlarındaki silindirik bir kabın elde edilebilmesi üç kademe mümkündür aksi takdirde malzeme çekme gerilmesini aşarak boyun verme veya yırtılma gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkacaktır. Kademe sayısı belirlendikten sonra her bir kademe için çekme

çapı-çekme derinliği boyutları tespit edilmelidir. Bunun için çekme oranından (m) yararlanılır.

$$m = \frac{d_1}{D} \Rightarrow d_1 = m \cdot D \quad 7.7$$

7.7 denkleminde d_1 'i bulabilmek için çekme oranının bilinmesi gereklidir. Bu da, deneysel verilerin sonuçları doğrultusunda sac kalınlığının açınım çapına oranı dikkate alınarak elde edilen çizelge 7.2 kullanılarak tespit edilecektir.

$$100 \cdot \frac{S}{D} = 100 \cdot \frac{1,6}{283,25} = 0,56 \text{ değeri dikkate alınarak çizelge den;}$$

$m_1=0,55$ $m_2=0,79$ $m_3=0,81$ olarak bulunur.

Çizelge 7.2 S/D ye göre çekme oranı tespiti (Ataşımşek 1977)

Çekme oranı (m)	Sac kalınlığının açınım çapına oranı (% S/D)				
	2-1,5	1,5-1	1-0,6	0,6-0,3	0,3-0,1
m_1	0,48-0,5	0,5-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,6
m_2	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,8
m_3	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,8	0,8-0,81	0,81-0,82
m_4	0,78-0,8	0,8-0,81	0,81-0,82	0,82-0,83	0,83-0,85

Bilinen çekme oranı değerleri kullanılarak her bir kademe için çekme çapı ve çekme yüksekliği bulunmalıdır.

$$d_1 = 0,55 \cdot 283,25 \cong 156mm.$$

$$d_2 = 0,79 \cdot 160 \cong 123mm.$$

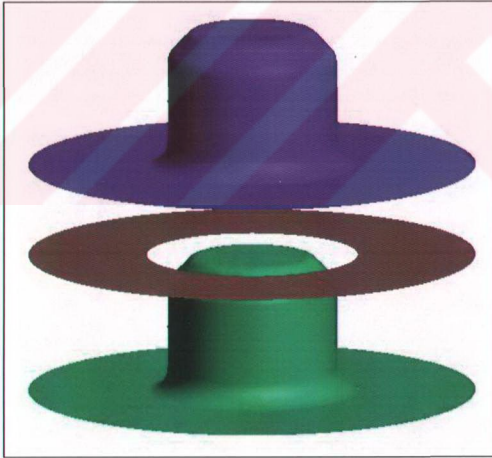
$$d_3 = 0,81 \cdot 125 \cong 100mm. \quad \text{denklem 7.6 dan,}$$

$$283,25 = \sqrt{100^2 + 4.156.h_1} - 10 \Rightarrow h_1 \cong 99$$

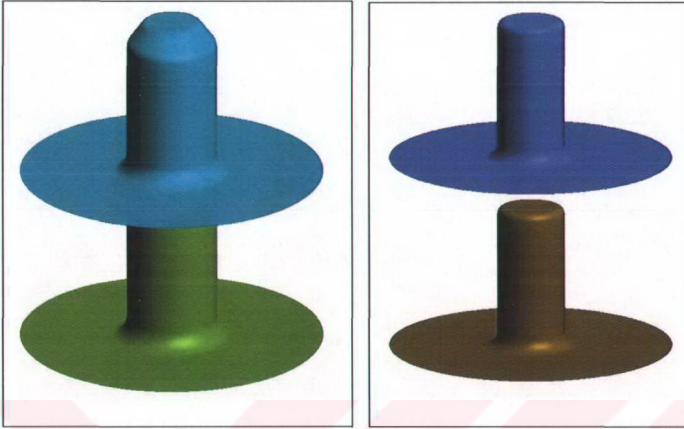
$$283,25 = \sqrt{100^2 + 4.123.h_2} - 10 \Rightarrow h_2 \cong 144$$

$$283,25 = \sqrt{100^2 + 4.100.h_3} - 10 \Rightarrow h_3 \cong 190$$

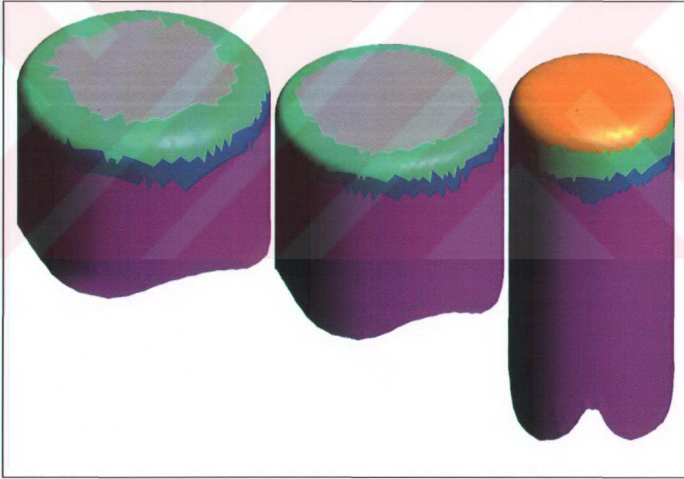
Kademeli çekmelerde taban radyüsün ilk operasyonlarda büyük çekilip son operasyonda istenilen değere getirilmesi yerine, ön çekmelerde konik çekilip son çekmede istenilen radyüse getirilmesi ve böylelikle çekme esnasında meydana gelecek gerilmeleri azaltma gayesi, deneysel verilerden hareketle tavsiye edilen bir yoldur. Şekil 7.6 ve 7.7 autoform benzetimi için hazırlanmış çekme kalıplarını göstermektedir. Bu doğrulamada da ilkin, radyüslerin kademelere göre küçültülmesi yoluna gidilerek autoformda analizi yapılmış ancak parçanın tabanının kalktığı öngörülünce (şekil 7.8), ilk iki operasyon konik çekildikten sonra istenilen radyüs değeri girildiğinde parçada herhangi bir yırtılmanın olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla ilgili hesaplama yolu şekil 7.9 de verilmiştir.



Şekil 7.6 Birinci operasyon çekme kalıbı



Şekil 7.7 İkinci ve üçüncü operasyon çekme kalıbı



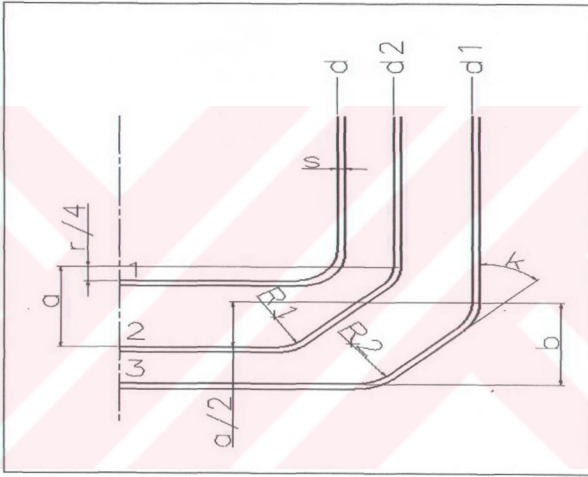
Şekil 7.8 Çekme kalıplarının autoformdaki analiz sonuçları

r : son çekilmiş parça radyüsü, α : koniklik açısı olmak üzere çizelge

7.3 kalınlığa göre koniklik açısını göstermektedir.

Çizelge 7.3 Kalınlık-koniklik açısı değişimi

$s < 0,8 \text{ mm.}$	$\alpha = 30^\circ$
$s = 0,8 - 1,6 \text{ mm.}$	$\alpha = 40^\circ$
$s > 1,6$	$\alpha = 45^\circ$



Şekil 7.9 Parça tabanının konik çekilmesi

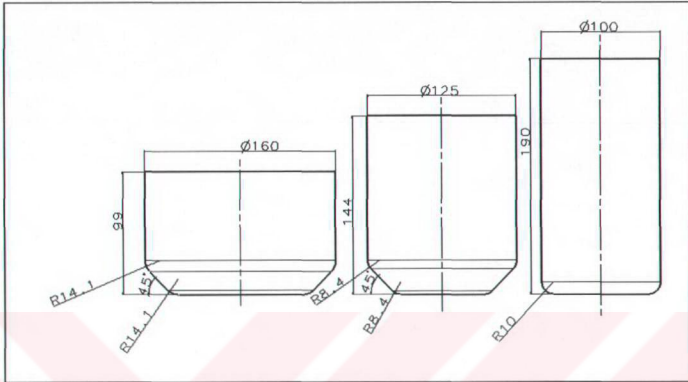
$$d_1 = 156 \text{ mm.} \quad d_2 = 123 \text{ mm.} \quad d = d_3 = 100 \text{ mm.}$$

$$a = \frac{d_2 - d}{2} + \frac{r}{4} = \frac{123 - 100}{2} + \frac{10}{4} = 14 \text{ mm.} \quad 7.8$$

$$b = \frac{d_1 - d_2}{2} + \frac{a}{2} = \frac{156 - 123}{2} + \frac{14}{2} = 23,5 \text{ mm.} \quad 7.9$$

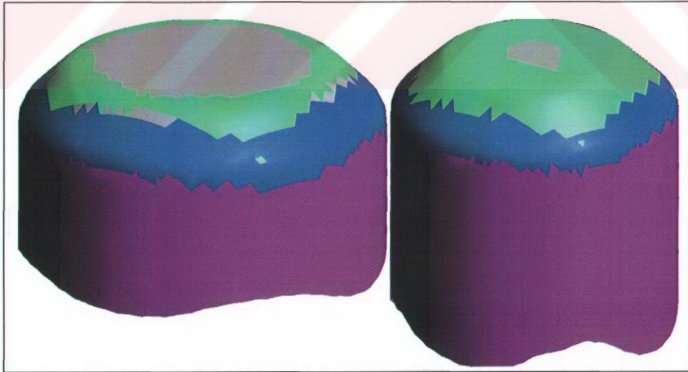
$$r_1 = 0,6a = 8,4 \text{ mm.} \quad r_2 = 0,6b = 14,1 \text{ mm.} \quad 7.10$$

Üç operasyon için yapılan hesaplamalar şekil 7.10 daki gibidir.

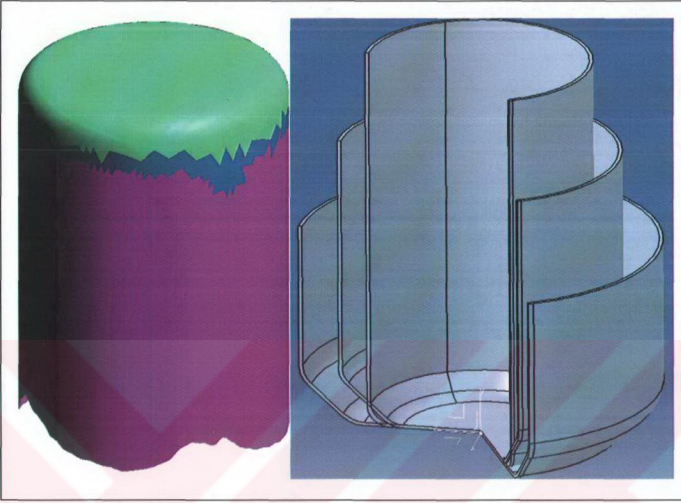


Şekil 7.10 Üç operasyon için silindir ölçüleri

Parçanın tabanının konik çekilmesi için yukarıda yapılan hesaplamalardan hareketle elde edilen silindirik kapların yüzey dotalarının oluşturulması ve autoformda yapılan çekme benzetimi ile elde edilen analiz sonuçları şekil 7.11 ve 7.12 de verilmiştir.



Şekil 7.11 Konik çekilen ilk iki operasyon için analiz sonuçları



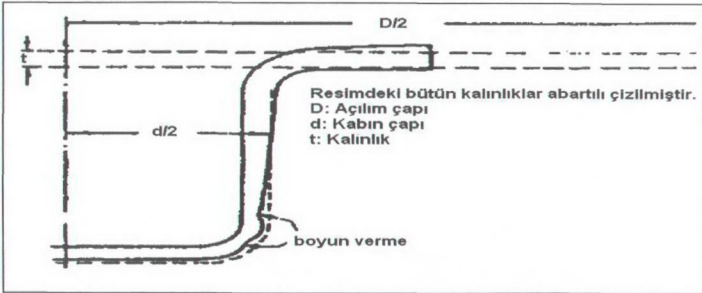
Şekil 7.12 Son operasyon için analiz sonucu ve kademelerin katı haldeki datası

Sonuç :

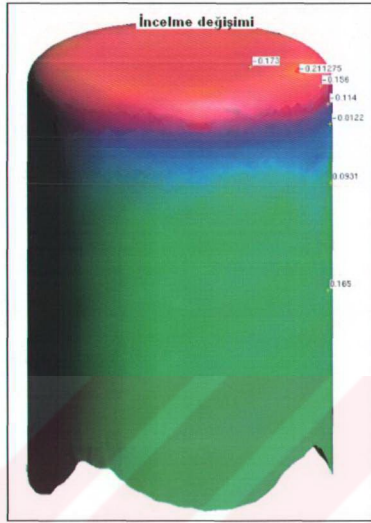
Deneysel verilerden hareketle operasyonlandırılması yapılan silindirik kabın autoformdaki benzetim sonuçlarına göre de elde edilebileceği görülmektedir. Kalınlık ve incelme değişimleri sonuçlarına göre kabın tabanı ile dip radyüsleri arasında nominal değerden % 17,3 oranında bir sapma (incelme) görülmektedir (şekil 7.14). Radyüs bölgesinde ise bu oran % 21.1 seviyesine kadar çıkmaktadır. Zımba ile kalıp arasındaki duvar kısmındaki değişimin nominal değerden % 16,5 oranına kadar bir sapma (kalınlaşma) ile gerçekleşebildiği görülmektedir (şekil 7.15).

Silindirik çekmelerde karşılaşılan en büyük problem taban açılmasıdır. Taban açılması, parçanın düzlemsel halinden kap şeklindeki bir yapıya dönüştürülmesi esnasında, malzemenin her bir noktasına farklı yönlerden kuvvetler etkimesiyle, özellikle radyüs gibi malzemenin kıvrımlı bölgelerinde büyük ve çeşitli yönlerden kuvvetler etkimesi, malzeme akışının kalıbı takip edememesinden dolayı

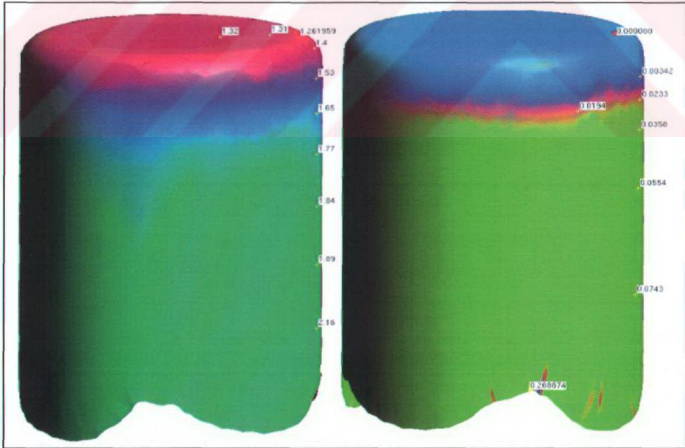
meydana gelebilecek uniform olmayan akma (pres hızının fazla olması etkeni gibi), malzemenin sınır mekanik özelliklerinin aşılması gibi etkenlerden dolayı zayıf bölgelerde boyun verme (şekil 7.13) ile başlayan bir problemdir. Bu problemin erken ortaya çıkmasını engellemek amacıyla proses (yağlama, kademeli çekme, süzdürme kanalları, radyüs yumuşatmaları) veya malzeme parametreleri (akma uzaması, çekme gerilmesi, elastisite modülü, anizotropi katsayısı, pekleşme üsteli) değiştirilebilir. Ancak uygulamalarda malzemenin çekme diyagramından hareketle gerekli optimum çekmeyi gerçekleştirebilmek amacıyla proses parametreleri üzerinde durulur. Malzeme parametrelerinde optimizasyona gitmek ise parçanın kullanım şartları dikkate alınarak kullanılacak malzeme belirlenmelidir ki bu da ürün tasarımcısının üzerinde duracağı bir konudur. Ancak kademeli çekme esnasında malzemede pekleşme meydana gelir ki bu durumda malzemenin akma uzaması ve çekme gerilmesinin artmasına bağlı olarak çekme miktarı ve uygulanacak kuvvet de artacaktır. Uygulamalarda benzetim programlarının ülkemizde pek yaygın kullanılmamasından dolayı yukarıda bahsi geçen deneysel olarak doğrulanmış denklemler, diyagramlar ve tablolar metal şekillendirme ile ilgili konularda silindirik, kare ve dikdörtgen kesitli veya bu klasik şekillere benzer kesite sahip olan parçaların operasyonlandırılmasında, bir çok sanayii tarafından bir yaklaşım parametresi olarak kullanılmasına rağmen günümüz gelişen teknolojisine (üretim yöntemleri, malzeme, benzetim programları,...) cevap vermekte çoğu zaman yetersiz kalmaktadır (Colgan ve Monaghan 2005).



Şekil 7.13 Malzemenin deformasyonu ve boyun vermesi



Şekil 7.14 İncelme dağılımı



Şekil 7.15 Kalınlık dağılımı kırışma kriteri

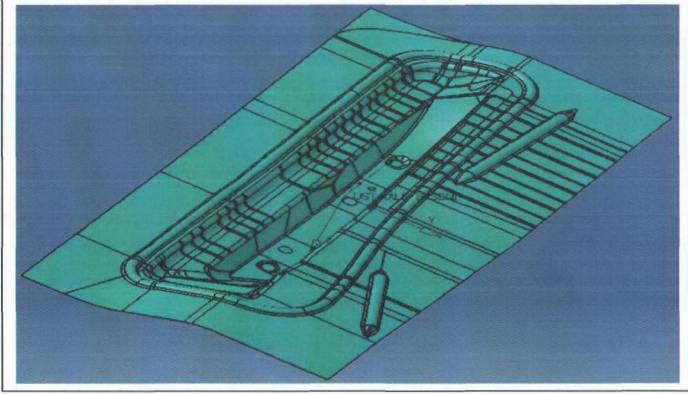
7.3 Bir Otomobil Parçasının Autoformda Benzetimi

Benzetim için kullanılan malzemenin özellikleri çizelge 7.4 de verilmiştir.

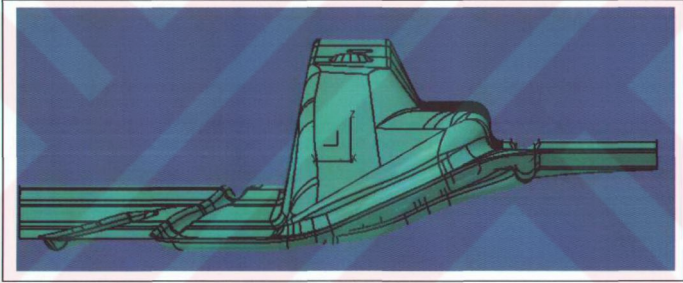
Çizelge 7.4 Benzetimde kullanılacak malzeme özellikleri

MALZEME MEKANİK ÖZELLİKLERİ		Birim	Minimum	Nominal	Maksimum
	Akma gerilmesi	MPa	140	170	200
	Çekme gerilmesi	MPa	270		
	Akma uzaması	%	38	41	44
	Pekleşme üsteli		0,2	0,220	
	Plastik anizotropi		1,40	1,60	
	Kalınlık	mm	0,86	0,9	0,94

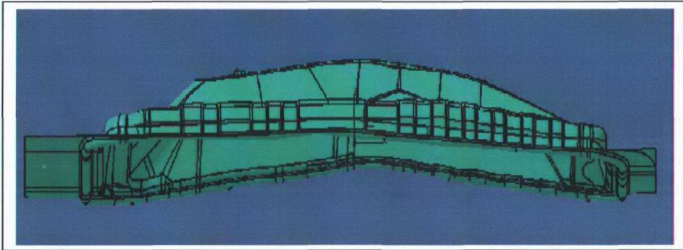
Bu çalışmada ilkin dikdörtgen şeklinde ve 350x800 açınıma sahip olan bir sacın şekillendirme analizi için autoform yazılımından faydalanıldı. Parçanın ilk önce tek bir çekme işlemi ile çıkarılıp çıkarılamayacağını belirlemek için benzetimler yapıldı. Parçanın benzetimi için öncelikle kaba bir çözüm yapılarak riskli bölgeler belirlendi. Parça üzerinde meydana gelebilecek kırışmaları önlemek ve parçanın her yerinde optimum akmayı sağlamak amacı ile 6 mm. yarıçaplı süzdürme kanalları kullanıldı. Formun daha fazla ve daha dik olduğu bölgelerde çift süzdürme kanalı kullanıldı. Aşağıdaki şekillerde de görüldüğü gibi parça bir çekme ve iki kesme operasyonundan oluşturuldu. Kalıplar transfer hattına göre dizayn edildiğinden bu hattın karakteristikleri dikkate alınarak kalıpların tasarımı yapıldı.



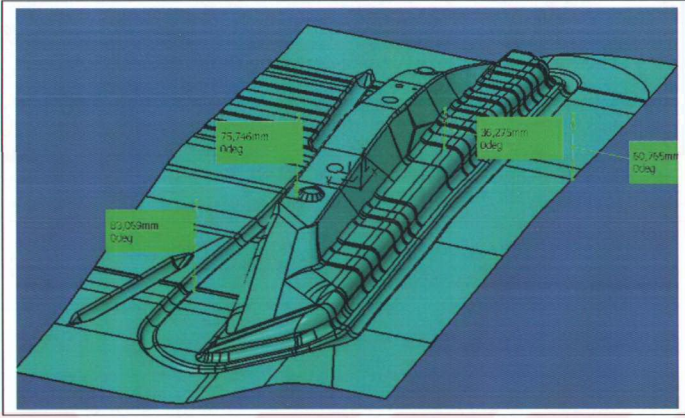
Şekil 7.16 Kalıp yüzey datası alt görünüş



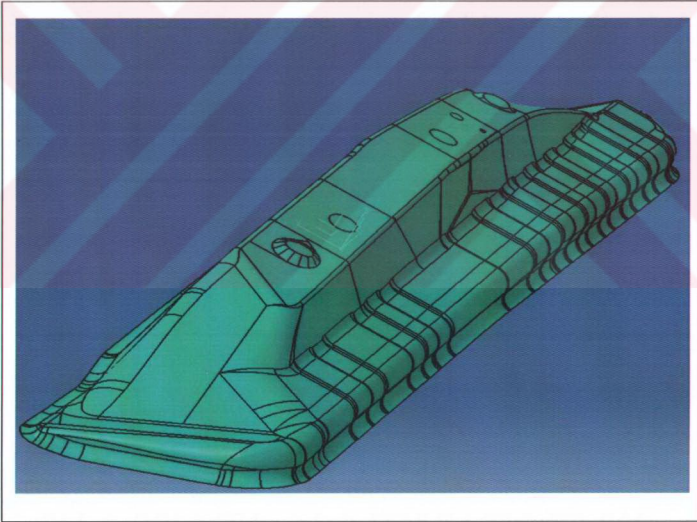
Şekil 7.17 Kalıp yüzey datası ön görünüş



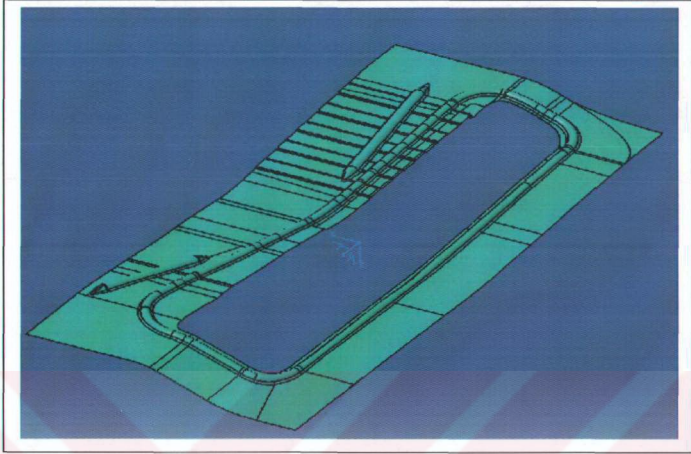
Şekil 7.18 Kalıp yüzey datası yan görünüş



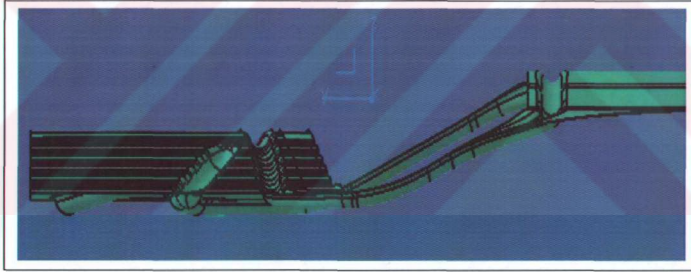
Şekil 7.19 Kalıp yüzey datası üst görünüş ve maksimum çekme yükseklikleri



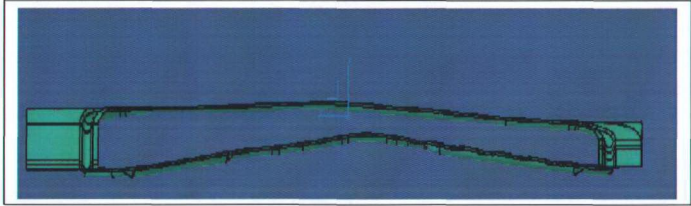
Şekil 7.20 Zımba yüzey datası



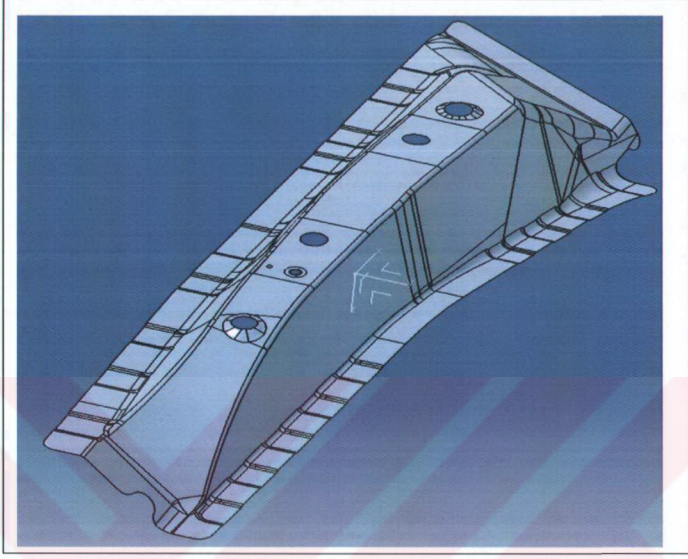
Şekil 7.21 Baskı plakası yüzey datası



Şekil 7.22 Baskı plakası yüzey datası ön görünüş



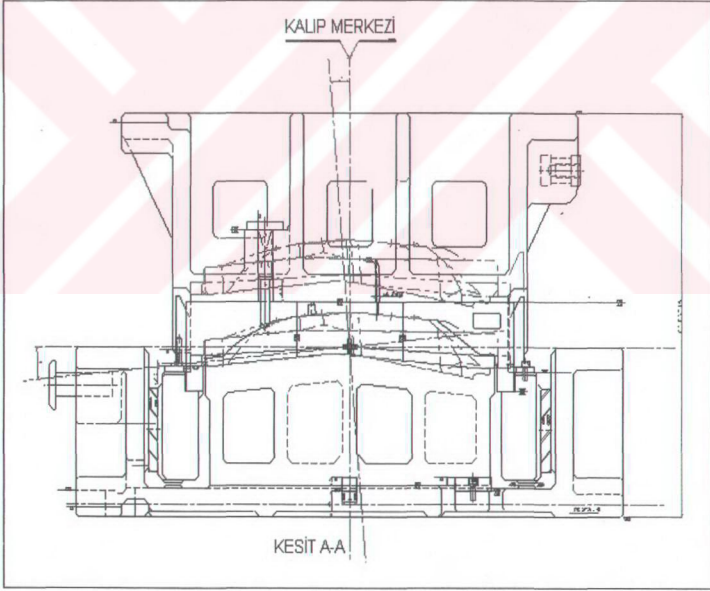
Şekil 7.23 Baskı plakası yüzey datası yan görünüş



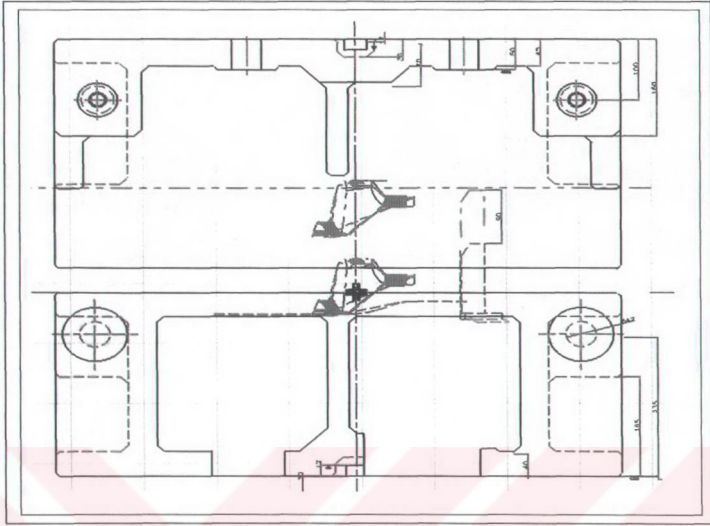
Şekil 7.24 Ürün son hali

Şekil 7.25 deki kesit resim, derin çekme kalıbının nasıl tasarlandığını göstermektedir. Kalıp genel olarak üst kalıp (dişi), zımba (erkek) ve baskı plakasından oluşmaktadır. Bunlar presin alt ve üst tablasına bağlanmıştır. Baskı plakası altına yerleştirilen gazlı yaylar sayesinde baskı plakasının hareketi sağlanmış olup, tek etkili kalıp hareketi söz konusudur. Üst kalıp hareketini presin koç dediğimiz üst tablasından alır. Üst kalıp hareketi sırasında ilk olarak baskı plakası ve dolayısıyla baskı plakasının üzerinde yer alan sac malzemenin form dışında kalan yani kesme operasyonu sonrası hurdaya ayrılacak yüzeyi ile temas eder. Burada en önemli nokta sacın üzerinde meydana gelen tutma kuvvetidir ki bu da baskı plakası kuvveti olarak adlandırılır ve baskı plakası altındaki yay kuvveti ile doğrudan ilgilidir. Bu kuvvet sacın kalıp içine kontrollü bir şekilde akmasını sağlamak içindir ve en uygun şekilde verilmesi derin çekme işleminde dikkat edilmesi gereken en temel uygulamadır. Eğer bu kuvvet gereğinden fazla verilirse sac malzeme üzerinde çok erken yırtılmalar meydana

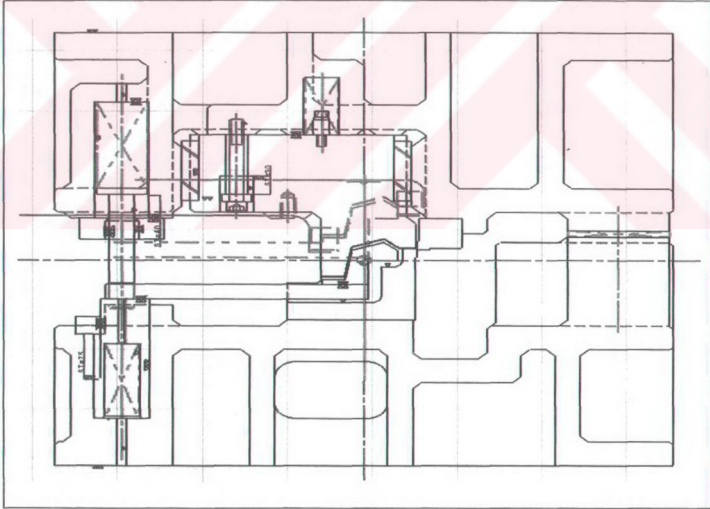
gelecektir, tersine gereğinden az verildiği takdirde ise malzeme kalıp içine erken akacak, bu da ürün üzerinde kırışmalara sebep olacaktır. Bununla ilgili Autoform yazılımı kullanılarak yapılan benzetimlerin örnekleri aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Zimba malzemeyi kalıp içine doğru iter ve kurs sonunda derin çekilen ürünün istenilen şekli verilir. Bu kurs boyunca sac üzerinde her an değişen basma ve çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmelerle sac şekil alırken aynı zamanda malzemede pekleşme ve kalınlık yönünde değişimler meydana gelir. Baskı plakası üzerindeki süzdürme kanalları şekillendirmenin ve çekme yüksekliğinin daha fazla olduğu bölgelere konuldu. Süzdürmelerle bu bölgelerde sac üzerinde ek bir tutma etkisi oluşturularak, malzemenin daha kontrollü bir şekilde akışını sağlama amacı güdülmüştür.



Şekil 7.25 Çekme kalıbı teknik resmi

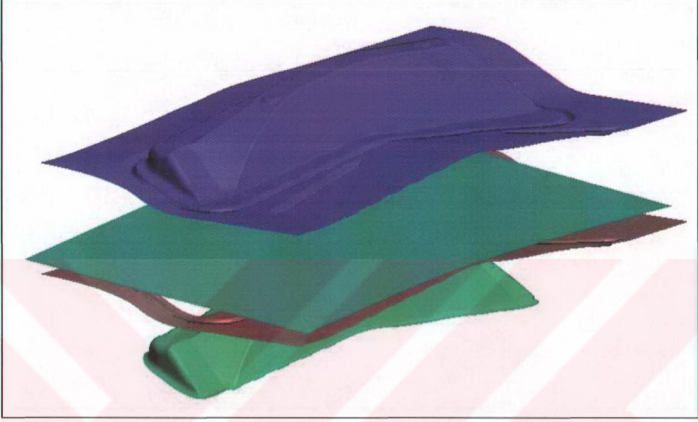


Şekil 7.26 Kesme kalıbı 1 teknik resmi



Şekil 7.27 Kesme kalıbı 2 teknik resmi

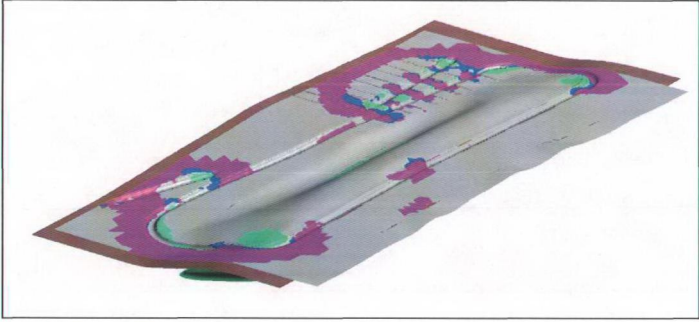
Aşağıdaki şekillerde ise autoform yazılımı ile yapılan çekme operasyonun benzetiminin aşamaları görülmektedir.



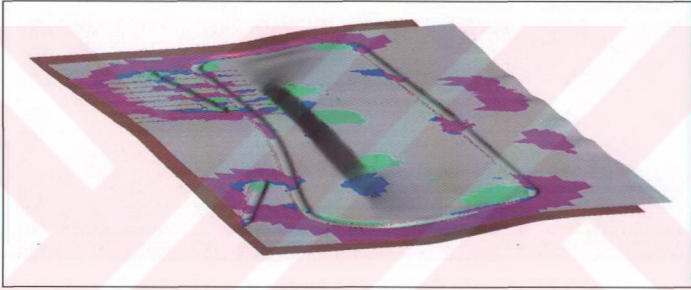
Şekil 7.28 Çekme kalıbı closing 1



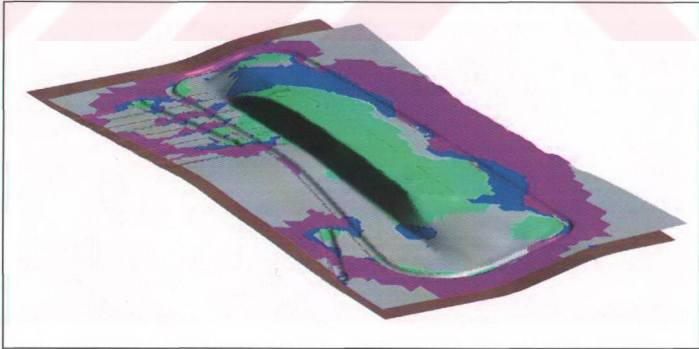
Şekil 7.29 Çekme kalıbı closing 2



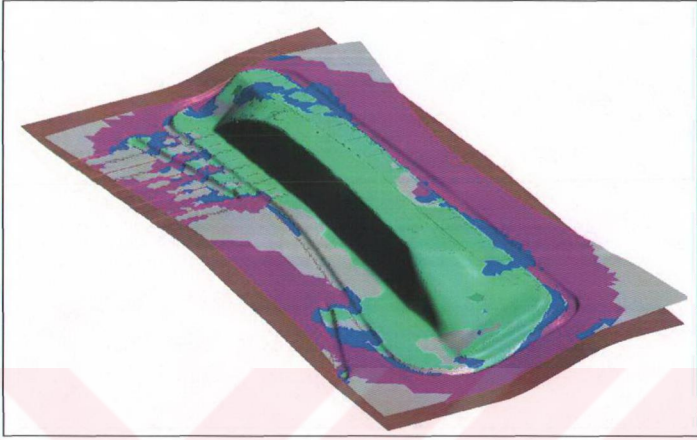
Şekil 7.30 Çekme kalıbu drawing 1



Şekil 7.31 Çekme kalıbu drawing 2

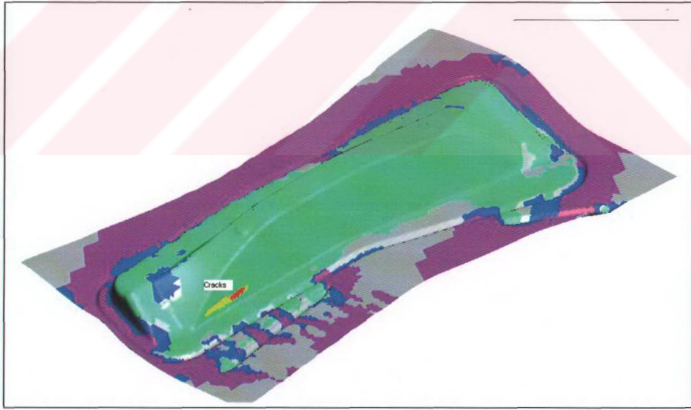


Şekil 7.32 Çekme kalıbu drawing 3

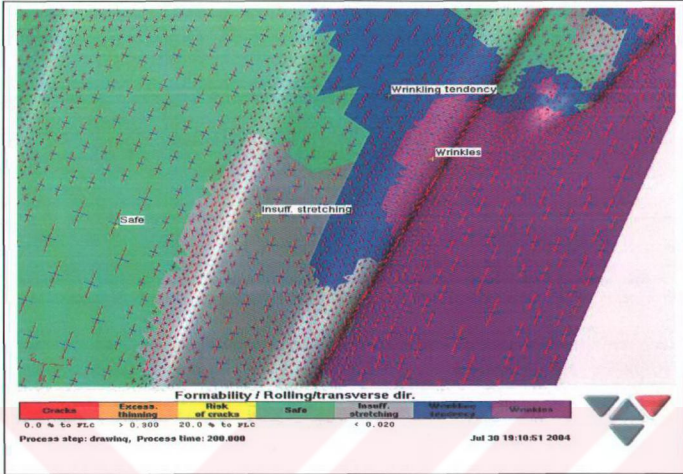


Şekil 7.33 Çekme kalıbu drawing 4

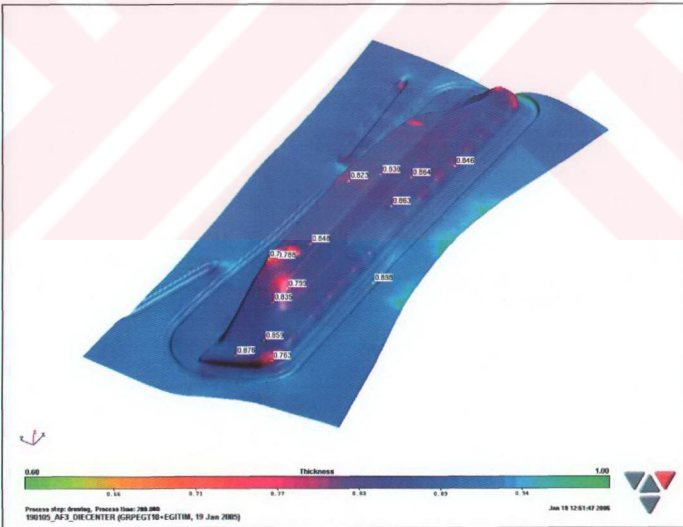
Aşağıda şekillerde yapılan benzetimden elde edilen sonuçlar görülmektedir.



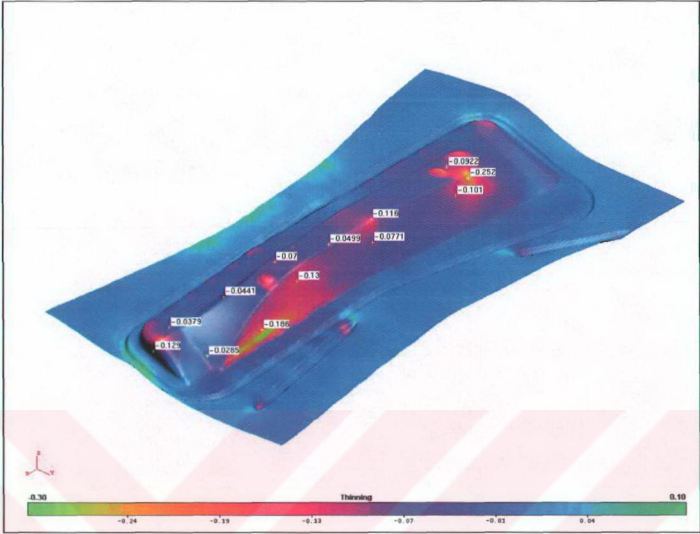
Şekil 7.34 Şekillenebilirlik durumu



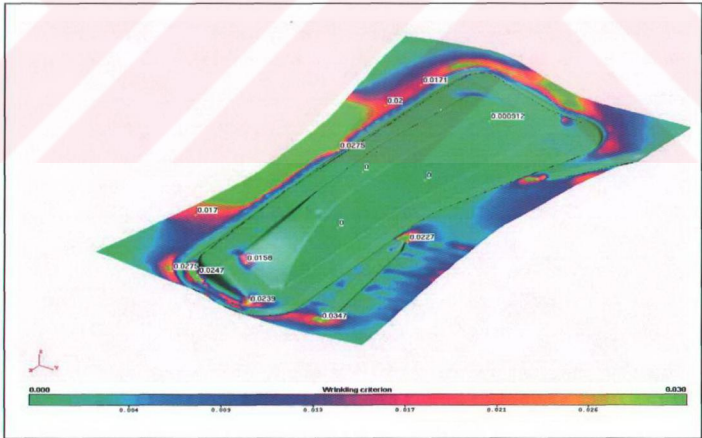
Şekil 7.35 Hadde doğrultusuna göre malzemenin akışı



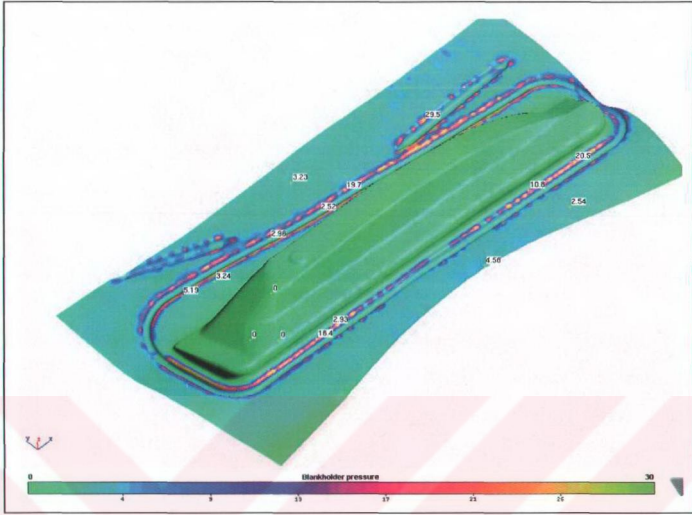
Şekil 7.36 Kalınlık dağılımı



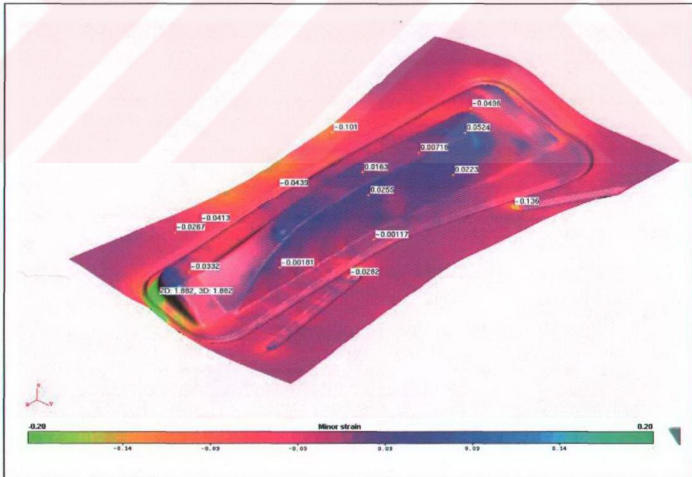
Şekil 7.37 İncelme dağılımı



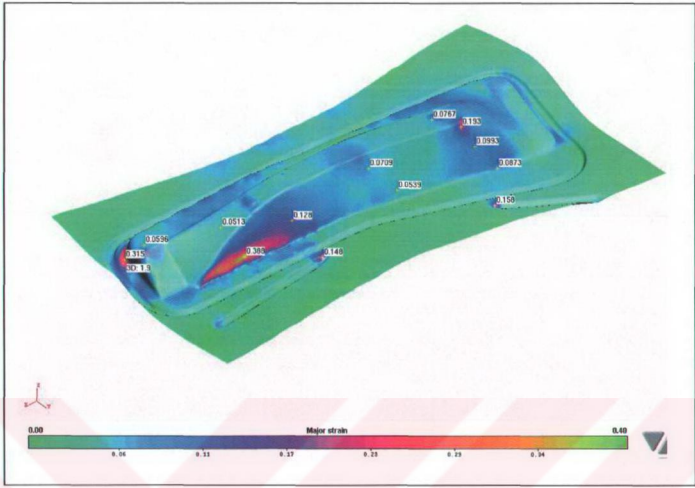
Şekil 7.38 Kırışma kriteri



Şekil 7.39 Baskı plakası basıncı



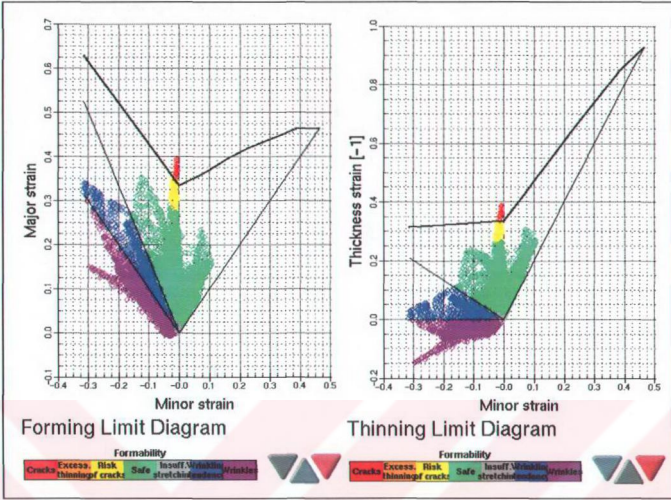
Şekil 7.40 Minor strain



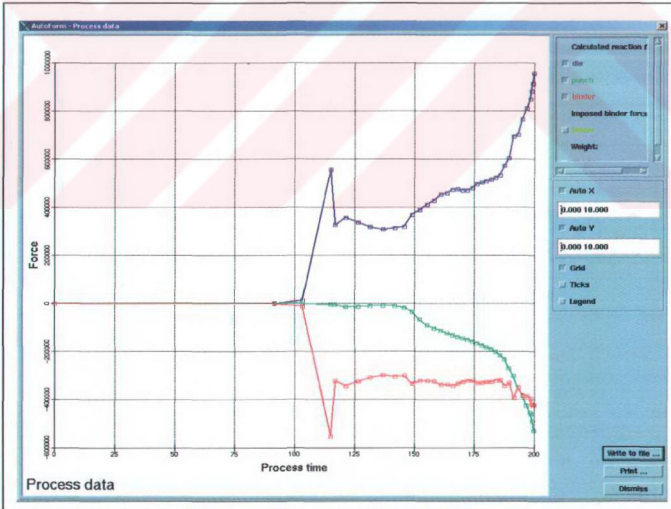
Şekil 7.41 Major strain



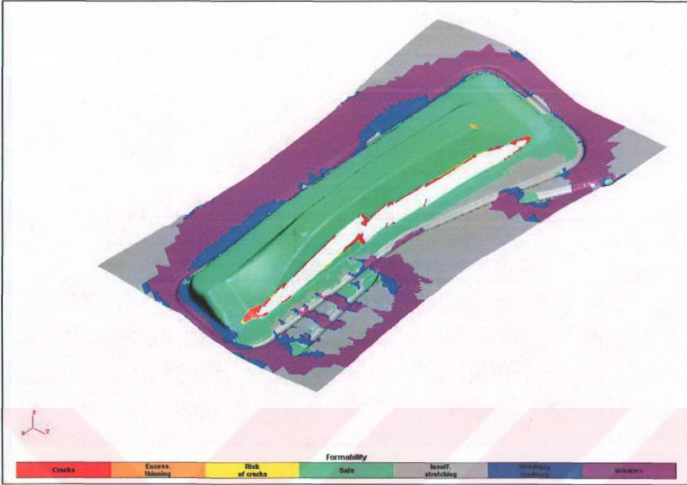
Şekil 7.42 Sürtünme kuvveti gerilmesi



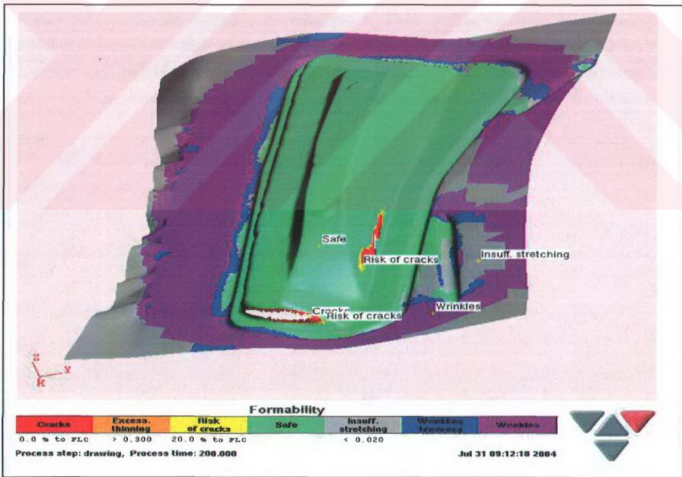
Şekil 7.43 Şekillendirme ve incelme sınır diyagramı



Şekil 7.44 Kuvvet çıktıları



Şekil 7.45 700000 N baskı plakası kuvvetinde sacdaki yırtılma



Şekil 7.46 550000 N baskı plakası kuvvetinde sacdaki yırtılma

8. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Sacın kalıptaki akışı malzemenin anizotropik özelliğinden ve sürtünme koşullarından etkilenir. Bu çalışmada kullanılan parçada, derin ve açının daha dik olduğu bölgelerde sacın kalıp içine doğru akışının zorlanmasından dolayı şekil 7.34 de görüldüğü gibi yırtılma riskinin arttığı gözlemlenmiş ve bu yapılan uygulama sonucunda da kanıtlanmıştır. Bu dik ve daha derin olan bölgeye çift süzdürme kanallarının konulmasının sebebi, sac akışının daha fazla olmasından doğabilecek muhtemel kırışma oluşma riskini bertaraf etmektir. Ancak malzemenin kalıp içine hareketi çok fazla sınırlandırıldığından yırtılmalar meydana geldiği görülmüş ve kalıp-baskı plakası üzerindeki süzdürme kanalları silindiğinde ve çevresel süzdürme kanallarının çapı azaltıldığında yırtılmanın engellendiği görülmüştür. Şekillendirilen sacın yüzeyinin mümkün oldukça her yerinin yeşil yani güvenli bölgede kalması istenir. Bu sacın ne kadar iyi şekillendirilebildiğinin ve ne kadar kaliteli bir ürün elde edildiğinin bir ölçüsüdür.

Kalınlaşma ve incelme sonuçları incelendiğinde (şekil 7.36-37) 0,2 lik bir değişimin parçanın yırtılmasına sebebiyet verebileceği ve bu değişimlerin özellikle radyüs bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Küçük radyüs bölgelerinde meydana gelen bu değişimler dikkate alındığında, silindirik kabın derin çekilmesinde karşılaşılan radyüs bölgelerindeki yırtılma probleminin bertaraf edebilmek için uygulanan radyüs büyütülmeleri gibi burada da çekme için daha büyük bir radyüs verilip kesme operasyonlarında ütüleme yolu ile istenilen çap verilirse bu risk zayıflatılmış olacaktır. Ayrıca şekil 7.38 de görülen kırışma riski olan bölgeler, ütüleme operasyonu ile bertaraf edilecektir.

Baskı plakası kuvveti için analizden elde edilen 450000 N kuvvet, yapılan denemeler esnasında 360000 N olarak bulunmuştur. Ancak süzdürme kanalı, radyüs büyütülmeleri ve açının son ebatları dikkate alındığında oldukça yakın bir sonuç bulunmuştur.

Bu çalışmada yapılan analizlerde girdi parametreleri olarak, sac malzemenin kalınlığı, özellikleri (E, poisson oranı, özgül ağırlığı, R, n, akma uzaması, çekme gerilmesi, akma gerilmesi), baskı plakası basıncı, kullanılacak

yağ (sürtünme katsayısı=0.15), parçanın açınımı, çekme kalıbının (alt-üst kalıp ve baskı plakası) ve parçanın yüzey verileri, kalıp elemanlarının pozisyon ve kursları alındı. Kalıbın tasarımından önce ilk olarak parçanın en uygun kalıp dizaynının yapılabilmesi amacıyla pozisyonlanması. Çekme kalıbı için malzemenin kalıp içine doğru uygun bir şekilde akmasını sağlayacak olmasından dolayı çok dikkat edilmesi gereken parçanın kalıptaki duruş açısı, yazılımın tipping modülü kullanılarak bulundu. Ancak kesme operasyonları için ters açığa gelen bölgeler olduğundan dolayı parçanın diğer operasyonlar için döndürülmesi ile bu ters açılar olması gereken kesme açısı limitlerine getirildi. Kesme operasyonları çekme işleminden sonra yapılacağı için çekme operasyonuna etkisi olmayacağı düşünülerek dikkate alınmadı. Parçanın montaj koşullarından gelen çevre kontur hassasiyeti dikkate alındığından, parça dış hatları için çekme operasyonundan sonra kesme operasyonlarının yapılması genellikle uygulanmaktadır. Bu çalışmada çekme operasyonu için ilk denemelerde 800x350x295 ebatlarında trapez şekilli olarak alınan açınım, yapılan deneme çalışmaları sonucunda 720x330x255 ebatlarındaki trapez malzemedan üretilerek parça başına maliyet düşürüldü.

Şu an ülkemizdeki sanayilerde kullanılan bazı analiz programları ile ilgili olarak karşılaştırmalar şekil 7.47 de görülmektedir.

Program adı	Çözüm metodu	Kullanım alanı
Autoform	Implicit	Sac metal şekillendirme
Fastform	Onestep	Sac metal şekillendirme
Pamstamp	Explicit/Implicit	Genel nonlineer Sac metal şekillendirme
LsDyna	Explicit	Genel nonlineer
Abaqus	Explicit/Implicit	Genel nonlineer

Şekil 7.47 Bazı analiz programlarının karşılaştırmaları

KAYNAKLAR

WANG,S.P.,S.CHOUDHRY ve T.B. WERTHEIMER.1997. Comparison between the static implicit and dynamic explicit methods for FEM simulation of sheet forming processes. MARC Analysis Research Corporation,Palo Alto,CA.,USA.

COLGAN,M. ve J.MONAGHAN. Deep Drawing Process analysis and Experiment. Journal of Materials Processing Technology 132 (2003) 35–41.

CHOI,T.H.,S.CHOI,K.H.NA,H.S.BAE ve W.J.CHUNG. Application Of Intelligent Design Support System For Multi-Step Deep Drawing Process. Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 76–88.

K.NAVAL ve R.KUMAR. Optimization of Initial Blank Shape to Minimize Earing in Deep Drawing Using Finite Element Method. Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 20–30.

DAVID,A.S.1990. Die Design Handbook. McGraw Hill Book,United States of America. 9-1 ve 12-1.

GÜNEŞ, A.T.1989. Pres İşleri Tekniği. TMMOB, C1,130, Ankara. 295 s.

ASKELAND, D.R. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri.

YURCI,M.E.2000. Kalıp İmalat Teknolojileri Semineri. Adapazarı.260 s.

BOZDOĞAN,R.1995. Malzeme Bilgisi Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

SAVAŞKAN,T. 2000. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Eser ofset,Trabzon.278 s.

GÜNDÜ,T.2000. Derin Çekme Saclarında Derin Çekilebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi, No:76657,İstanbul.126 s.

ÖZENÇ,S.1995.Ust Derin Çekme Sacının Şekillendirilme Sınır Diyagramlarının Teorik ve Deneysel olarak Saptanması, No:47575,İstanbul.135 s.

ÖZBEK,İ.1987. Ilık İşlemin Derin Çekme Saçların Özelliklerine Etkisi, No:8290, İstanbul. s. 1-15.

NACEUR,H.,H.DALAMEZİERE,J.L.BATOZ,Y.Q.GUO,C.KNOPF-LENOIR.2003. Some Improvements on the optimum process design in deep drawing using the inverse approach. Journal of Materials Processing Technology 146 (2004). p. 250–262.

DEJMAL,I., J.TIROSH, A.SHIRIZLY ve L.RUBINSKY. On the Optimal Die Curvature in Deep Drawing Process. International Journal of Mechanical Sciences 44 (2002) 1245–1258

THOMAS W.,T.OENOKI ve T.ALTAN. Process simulation in stamping -recent applications for product and process design. Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 232-243.

ALICI,İ. 2001. Derin Çekme Saçlarının Deformasyon Davranışının İncelenmesi. Bursa. 78 s.

ARAN,A. ve M. DEMİRKOL.1993. Plastik Şekil Verme Ders Notları. s.1-80.

KAYALI,E.S. ve C.ENSARİ.1986. Metallere plastik şekil verme ilke ve Uygulamaları.

KOBAYASHI S.,SOO-İK OH,Altan T.1989.Metal Forming and Finite Element Method.

ZHİLUN X.1992.Applied Elasticity.

GULEÇ, Ş.1985. Malzeme Bilgisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÇAPAN,L.1974. Silindirik Saç Çekme Matrislerinin Dayanım Süresi, İstanbul. s.1-40

ATAŞİMŞEK,S.1977. Sac Kalıpları. s. 401-699.

Autoform User Guide,1999-2000.

Ls-Dyna User Guide.

Schuler Springer, 1998. Metal Forming Handbook.

Fast Form3D Software Training, 2000.

<http://ansys.net/ansys>



ÖZGEÇMİŞ

Serkan Göl, 1977 yılında Diyarbakır'da doğdu, 1994 yılında Balıkesir Zühtü Özkardeşler Lisesi'ni bitirdi. 2000 yılında İ.T.Ü. Uçak-Uzay Bilimleri Fakültesi'nin Uçak Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimi görmektedir.



TEŐEKKÜR

Engin bilgisi ve tecrübesi ile yüksek lisans öğrenimim boyunca bana güven veren, teşvik eden, destekleyen ve bu günlere gelmemi sağlayan Hocam Doç.Dr.Reşat Özcan'a,

Çalışmamda teknolojik destek sağlayan Grup Otomasyon ve Bilgi Sistemleri Ltd.Ş.'ne,

Varlıklarını hep arkamda hissettiğim, hayatımın her döneminde ban her türlü desteği esirgemeyen ve bu günlere gelememi sağlayan canım aileme şükranlarımı sunarım.

